

낙동강 하구 새섬매자기의 연간 변동과 환경 특성

이 용 민* / 여 운 상** / 오 동 하*** / 성 기 준****†

Annual Changes in *Scirpus planiculmis* and Environmental Characteristics of the Nakdong River Estuary

Yong Min Yi* / Un Sang Yeo** / Dong Ha Oh*** / Kijune Sung****†

요약 : 낙동강 하구에 우점하고 있는 새섬매자기(*Scirpus planiculmis*)의 연간 변화 양상 및 주요 환경 특성을 파악하기 위하여 2005~2010년의 밀도, 새섬매자기 생체량, 괴경 생체량 등의 새섬매자기의 생장 특성과 기온, 강수량, 방류량, 주변해역의 염분농도, 토성 변화 등의 서식 환경 특성을 조사하였다. 새섬매자기의 밀도는 2005년 10.1 개체/m²~87.6 개체/m² 범위에서 2009년에는 0.4 개체/m²~2.2 개체/m² 로 낙동강하구 조사지역에서 크게 감소한 것으로 나타났으며 2010년에는 명지갯벌과 맹금머리등에서 각각 18.3±7.7 개체/m², 17.5±20.7 개체/m² 로 다소 회복 한 것으로 나타났다. 새섬매자기의 지상부와 지하부의 비는 2005년에는 4.54±0.70 이었으나 새섬매자기 생체량에 있어서 급격한 감소가 있었던 2009년에는 1.91±0.35로 나타나 지상부의 감소가 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 새섬매자기 괴경의 토심에 따른 분포는 0~15 cm 에서 36.0%, 15~30 cm 에서 64.0%가 나타나 토심 15~30 cm에서 상대적으로 더 많은 괴경이 분포하는 것으로 나타났다. 2009년의 급격한 감소는 고염도에 의한 피해 가능성이 있는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 새섬매자기, 생체량 변화, 괴경, 지상부:지하부 비율, 염분영향

Abstract : *Scirpus planiculmis* is one of the most dominant species found in the Nakdong River estuary. In order to understand the recent changes in *S. planiculmis* and the environmental characteristics of the estuary, from 2005 to 2010, an analysis of the density, total dry biomass, tuber biomass, and distribution pattern of *S. planiculmis* as well as an analysis of the temperature, salinity, precipitation, barrage discharge, and soil texture of the estuary were conducted. In 2006, the density ranged from 10.1 to 87.6 no./m², but in 2009, it ranged from 0.4 to 2.2 no./m² in 2009 and drastic reductions were observed throughout the sampled areas in the Nakdong river estuary. In 2010, *S. planiculmis* was observed on the tidal flats of Myungji and Mangummerydeung, at a density of 18.3±7.7 no./m² and 17.5±20.7 no./m², respectively. Hence, *S. planiculmis* is considered to be in a recovery phase. The aboveground/belowground ratio reduced from 4.54±0.70 in 2005 to 1.91±0.35 in 2009, clearly showing a large decrease in the biomass amount of the aboveground than of the belowground. Tubers were distributed in the soil, with only 36.0% at the 0~15 cm depth but 64.0% at the 15~30 cm depth. Apparently, tubers were more likely to be found at 15~30 cm below the soil in the Nakdong River estuary. A drastic reduction in the *S. planiculmis* biomass in 2009 is possibly due to the high salinity in *S. planiculmis* habitats.

Keywords : Biomass change, tuber, aboveground/belowground ratio, salinity effect, barrage discharge

† Corresponding author : ksung@pknu.ac.kr

* 정희원 · 국립부경대학교 생태공학과 · 박사과정 · youngmin@pknu.ac.kr

** 비희원 · 부산발전연구원 녹색도시연구실 · 연구위원 · yeousang@bdi.re.kr

*** 비희원 · 부산발전연구원 녹색도시연구실 · 연구실장 · dongha@bdi.re.kr

**** 정희원 · 국립부경대학교 생태공학과 · 부교수 · ksung@pknu.ac.kr

1. 서 론

우리나라의 대표적인 하구 중 하나인 낙동강 하구는 행정구역상 부산광역시에 위치하며 외해와 연결되어 있어 해류의 순환에 의해 강의 담수와 만나는 수역에 독특한 생태계를 형성하고 있다(문성기 등, 2008). 낙동강 삼각주 지형은 크게 하중도와 배후습지로 구성된 상부 삼각주 지역과 삼각주 연안 사주섬군, 간석지, 그리고 해안평야로 이루어진 하부 삼각주로 구성되어 있으며(김성환, 2009), 삼각주 주변은 수심이 얇은 갯벌이 넓게 형성되어 있어 플랑크톤과 어류, 패류, 수서곤충 등이 풍부하다(환경부, 2009). 이와 같은 천혜의 환경조건을 갖추고 있는 낙동강 하구는 겨울새의 월동지, 철새의 이동경로로서 한반도에서 매우 중요하다(van Sluis and Lijklema, 1984). 이에 따라 낙동강 하구일원은 현재 자연환경보전지역, 습지보호지역, 문화재구역, 특별관리해역 등으로 중복 지정되어 법적 보호를 받고 있어 생태적 가치와 중요성이 매우 높은 지역이다(부산광역시, 2011). 낙동강 하구에는 다양한 해안성 식물이 분포하고 있는데, 하구에 서식하고 있는 식물은 조류(潮流)와 파도를 감소시킴으로써(Möller and Spencer, 2002), 침식으로부터 해안선을 보호하는 역할을 하며(Jacobs et al., 2009), 폭우 시 물의 급격한 증가를 완화시켜 줌으로써 육지와 해양 사이에서 자연적인 완충지대 역할을 한다(환경부, 2009). 특히, 낙동강 하구 삼각주에 우점하고 있는 새섬매자기(*Scirpus planiculmis*)는 낙동강 하구에서 태양에너지를 고정하여 자생적인 유기물을 생산하는 역할을 담당하며(안순모 등, 2006), 분해된 영양물질은 하구에 유입되어 이를 먹이원으로 하는 저서형 대형무척추 동물군의 분포에 영향을 미친다(김구연 등, 2002). 뿐만 아니라 새섬매자기의 피경은 고니류의 주요 먹이원으로 알려져 있으며(윤해순, 1991), 낙동강 하구의 물질순환과 먹이사슬에 있어서도 중요한 역할을 한다고 할 수 있다.

그럼에도 불구하고 국내에서의 새섬매자기 관련 연구들은 주로 새섬매자기를 간척지에서 벼의 생산

량을 저해하는 식물로 인식하여, 잡초관리 차원에서 새섬매자기의 생육 특성(이강수 등, 1991; 최성환 등, 2000)과 제초제에 대한 반응성(황인택 등, 1994)에 관한 연구가 진행된 바 있다. 낙동강 하구의 새섬매자기는 2007년 이전까지 세모고랭이(*Schoenoplectus triqueter*)로 알려져 있었기 때문에 이 지역에서 수행된 연구들은 낙동강 하구지역 세모고랭이의 성장변화에 관한 연구(김구연 등, 2005)와 세모고랭이의 생체량 및 탄소, 질소 함량의 계절 변화에 관한 연구(안순모 등, 2006) 등과 같이 대부분 세모고랭이로 인식되어 수행되었으며 이후 새섬매자기로 불리면서 새섬매자기 군락의 보전 및 증식방안(김구연, 2009)에 관한 연구가 진행된 바 있다. 그 외 지역에서는 새섬매자기 서식지로 알려진 한강하구에서 새섬매자기 개체군의 쇠퇴 원인과 복원방안에 관한 연구 등이 수행되었다(유영한, 2008). 하지만 이와 같은 연구들은 단기간 동안의 새섬매자기의 성장 변화에 국한되어 수행되었기 때문에, 환경변화가 큰 하구역에서 매년 서식 환경이 바뀌는 특정 식물의 개체군 수준에서의 변동을 파악하는 데는 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 낙동강 하구에 서식하고 있는 새섬매자기의 중장기간의 변동을 낙동강 하구의 여러 사주별로 파악하기 위해서 낙동강 하구역의 새섬매자기 우점지역을 선정하여 해당 지역 새섬매자기의 성장 변동을 조사하였다. 또한 대상지역의 환경 특성을 분석하기 위하여 여러 환경요인 중 일반적으로 식물 성장과 분포의 중요한 영향인자로 알려진 강수량과 기온, 서식지의 염분농도, 토성 등에 대해서 살펴보았다.

2. 연구방법

2.1 조사지개황 및 연구대상 식물

본 연구의 대상지역은 부산광역시 강서구에 위치한 낙동강 삼각주 남단에 해당하는 해안으로 하중도인 을숙도를 비롯하여 대마등, 장자도, 신자도, 진우도, 백합등, 도요등과 같은 크고 작은 사주가 발달해 있다. 사주 주변은 바닷물과 강물이 만나며,

수심이 얇은 갯벌이 넓게 형성되어 많은 어류, 패류, 수서곤충이 번식하고 있으며, 이는 철새의 중요한 먹이원이 된다(환경부, 2009). 또한 각 사주 등은 간석지로 연결되어 있고, 간석지에는 새섬매자기 순군락이 형성되어 있다(김구연 등, 2005). 하지만 낙동강 하구는 1980년대 이후에 서쪽지역에 공단, 주거단지 등의 건설되었고, 하구둑 건설과 같은 대규모 사업이 활발해지면서 하구일대 환경의 큰 변화를 겪게 되었다. 특히 1987년에 조성된 하구둑은 해양물리환경, 퇴적지형, 대기환경 및 삼각주에서의 식물군락에 변화를 초래하였으며(윤한삼 등, 2007), 담수의 불연속적 방류로 인하여 하구 해역의 생산성에 영향을 미칠 수 있다고 보고하였다(신성교 등, 2006). 본 연구에서는, 새섬매자기 순군락이 분포하고 있는 대마등, 땡금머리등, 명지갯벌, 백합등의 5지점과 을숙도 하부 8지점에 고정조사구를 설치하고 새섬매자기의 생장변화를 조사하였다(Fig. 1). 고정조사구는 매년 동일지역에서의 식물성장 및 분포의 변화를 관찰 할 수 있어 낙동강 하구의 새섬매자기 변화량에 대한 객관적이고 과학적인 자료를 제공할 수 있다.

본 연구대상 식물인 새섬매자기는 낙동강하구에서 갈대와 함께 가장 넓은 면적을 피복하여 우점하고 있는 사초과의 다년성 수생 정수초본으로 그 생김새가 세모고랭이와 비슷하여 2007년 이전까지 세모고랭이로 알려져 왔으나, 그 분포 중심지 및 형태적 특성에서 차이를 보인다. 새섬매자기의 경우 담수역 보다는 해안지역 또는 기수역에서 분포하는 반면, 세모고랭이는 담수역에 주로 서식하는 특징을 가지며 형태적인 차이로는, 새섬매자기는 덩이줄기인 괴경이 잘 발달하는 반면 세모고랭이는 괴경이 발달하지 않는 것으로 알려져 있다(김종원 등, 2009).

2.2 새섬매자기 변화 조사

2.2.1 새섬매자기 밀도 변화

밀도는 개체군과 같은 특정 크기 단위의 생물에 대한 수량적 크기 또는 특정 장소와 시간에 존

재하는 종의 개체수를 나타내는 지표이다. 본 연구에서는 2005년과 2008~2010년 6월에 낙동강 하구의 대마등, 땡금머리등, 명지갯벌, 백합등 4개 지역의 5지점과 을숙도 하부 8지점을 고정조사지점으로 하여 총 28개의 조사지점에 대해 각 조사지점 당 동서남북 4방향으로 1 m × 1 m 방형구를 이용하여 해당 방형구에 나타나는 새섬매자기의 개체수를 측정하였다.

2.2.2 새섬매자기 생체량 변화

어떤 시점에서 임의의 공간에 존재하는 생물체의 양을 나타내는 생체량은 2005년과 2008~2010년 8월에 동일한 28개의 고정조사지점에 대해서 각 조사지점별로 5~7 m 범위 내에서 3개의 0.3 m × 0.3 m 의 방형구를 설치하고 방형구 내의 새섬매자기를 뿌리까지 채취하여 샘플용기에 담아 실험실로 운반하였다. 실험실로 운반된 새섬매자기는 흐르는 물로 씻어 토양을 제거한 후 지상부와 지하부로 분리하여 80℃에서 무게변화가 없을 때까지(72시간) 건조시킨 후 그 무게를 측정하였다. 식물의 채취가 다음해의 식물생산량에 영향을 미치는 것을 최소화하기 위하여 매년 다른 위치에서 식물을 채취하였다. 측정값은 단위면적당 건중량으로 환산하여 나타내었다.

2.2.3 새섬매자기 괴경 생산량

새섬매자기는 유성생식과정에서 종자생산에 의한 번식보다 괴경에 의한 번식으로 빠르게 생육지를 확보하며 군락을 확장해 가는 것으로 알려져 있다(윤해순, 1991). 땅속줄기의 일부분으로 영양 증식 기관의 하나인 새섬매자기의 괴경은 낙동강 하구의 주요 조류들의 주요한 먹이원이기 때문에 대상지역의 먹이자원 혹은 회복정도를 파악하는데 중요한 자료를 제공할 수 있다. 본 연구에서는 2008년, 2009년, 2010년 10월 중순에 조사지점에서 북, 북동, 동, 남동, 남, 남서, 서, 북서 등 8개 방향으로 7~10 m 이격하여 0.1 m×0.3 m×0.3 m 의 코어를 이용하여 괴경을 채취하였

다. 토양의 깊이 15 cm 를 기준하여 상층부와 하층부로 구분하여 코어 내의 수집된 괴경 수를 측정하고, 다시 80°C에서 무게변화가 없을 때까지 (72 시간) 건조시킨 후 건조량을 측정하였다. 해당 연도의 괴경 채취가 다음해의 괴경 생산량에 영향을 미칠 수 있으므로 이를 최소화하기 위하여 매년 다른 위치에서 괴경을 채취하였다. 측정된 결과 값은 단위부피당 개수와 건조량으로 환산하여 나타내었다.

2.3 환경특성

식물생장에 영향을 미칠 수 있는 강수량과 기온변화는 김해기상대로부터 본 연구기간인 2005~2010년의 자료를 획득하여 분석하였으며, 낙동강하구둑의 방류량은 수자원공사로부터 자료를 제공받아 새섬매자기의 발아와 초기 생장에 영향을 줄 수 있는 1~6월 동안의 총 방류량을 살펴보았다. 염분농도는 낙동강하구 조사 지점 주변해역 5 지점에서 새섬매자기의 초기생장에 영향을 줄 수 있는 봄철 중에서 수위가 가장 높은(사리, 만조) 시기에 수심 1m 이내 지점에서 휴대용 수질측정장치(YSI-6600, USA)를 이용하여 측정하였다.

또한 식물의 생체량과 토성과의 관계를 파악하기 위해서 5개의 지역 중에서 2개 정점을 선정하여 2008년 10월, 2009년 8월, 2010년 8월에 각각 시료를 채취하여 토성을 분석하였다. 토성의 분석은 해양오염공정시험법에 따라 체분석과 피펫팅 분석을 병행하여 분석하였다(해양수산부, 2002). 환경특성 조사를 위한 수질 측정지점 및 토양시료 채취지점은 Fig. 1과 같다.

2.4 통계분석

새섬매자기의 연간 변화와 지역별 차이를 검정하기 위하여 Duncan의 다중범위 검정법을 이용한 이원분산분석(two-way ANOVA)을 실시하였으며, 각 조사연도의 지역 간 차이를 검정하기 위하여 조사 자료를 각각 지역과 연도별로 구분한 후 일원분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다. 또한 새섬매자기의 밀도, 생체량, 괴경 개수 및 건조량과 조사지역의 모래, 미사, 점토 함량간의 상관분석을 실시하였다. 통계 분석은 SAS 프로그램을 이용하였으며 통계적 유의수준은 $p < 0.05$ 를 기준으로 하였다.

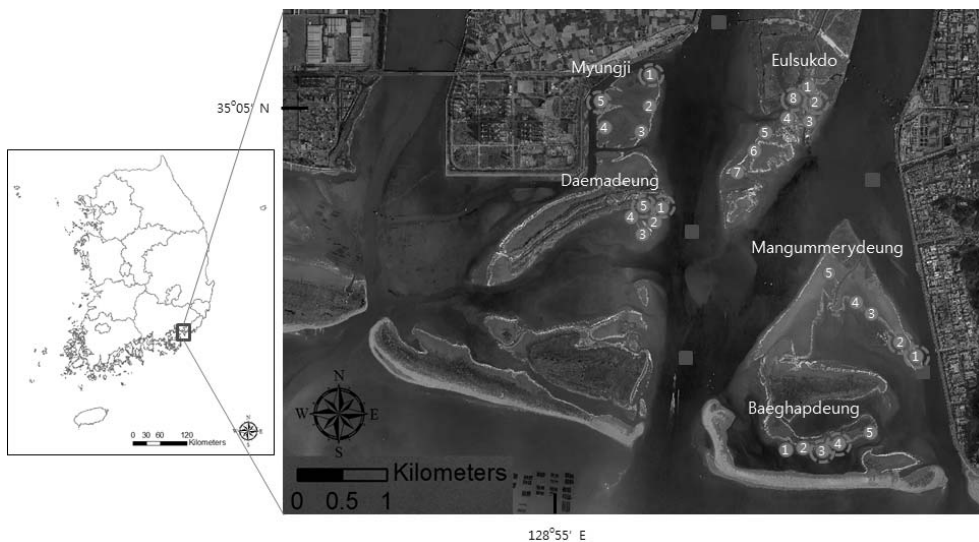


Fig. 1. Map showing the studied area (surveyed station for plants: ● ; Numbers show the sampling stations in each survey site, soil : ⊙, salinity : ■).

3. 결과 및 고찰

3.1 2005~2010년의 새섬매자기 변화

3.1.1 새섬매자기 밀도

연도별 새섬매자기의 밀도 변화를 비교한 결과 2005년부터 2009년까지 감소하다가 2010년 다소 회복되는 것으로 나타났으며($p < 0.0001$), 지역별로는 차이가 없는 것으로 나타났다($p = 0.1175$) (Fig. 2). 단위면적당 출현 개체수를 나타낸 새섬매자기의 밀도는 2005년에 을숙도, 대마등, 맹금머리등에서 각각 87.6 ± 13.0 개체/ m^2 , 72 ± 68.2 개체/ m^2 , 24 ± 22.4 개체/ m^2 의 순으로 나타났으며 그 다음으로 명지갯벌과 백합등에서 각각 12.8 ± 5.6 개체/ m^2 , 10.1 ± 4.1 개체/ m^2 로서 서로 유사한 수준으로 나타났다(Fig. 2(a)). 조사지역별로 새섬매자기의 밀도 변화를 살펴보면 2008년에 명지갯벌에서는 2005년에 비해 173.0%의 증가를 보인 반면 그 외 지역인 대마등, 맹금머리등, 을숙도에서는 각각 2005년 대비 81.4%, 63.3%, 79.8%의 감소를 보였다. 특히, 2009년에는 대마등, 맹금머리등, 명지갯벌, 백합등, 을숙도의 평균밀도가 각각 1.9 ± 2.5 개체/ m^2 , 0.4 ± 0.7 개체/ m^2 , 0.4 ± 0.6 개체/ m^2 , 0.7 ± 0.9 개체/ m^2 , 2.2 ± 2.7 개체/ m^2 로 나타나 모든 지역에서 새섬매자기의 밀도가 크게 감소한 것으로 관찰되었다.

2010년에는 명지갯벌에서 2005년의 72.9% 수준으로 회복하였다. 맹금머리등에서는 오히려 2005년보다 42.6% 증가한 것으로 나타났다. 대마등, 백합등, 을숙도에서는 2009년도에 비해 평균밀도의 증가는 관찰할 수 있었으나 아직 통계적으로 유의한 수준의 증가는 아닌 것으로 파악되었다 (Fig. 2(b)). 한편 2005년에는 대마등과 을숙도에서, 2008년에는 명지갯벌, 2009년에는 을숙도, 2010년에는 명지갯벌과 맹금머리등에서 가장 높은 새섬매자기 밀도가 관찰됨으로써 낙동강 하구의 어느 특정지역이 새섬매자기 서식에 적합한 환경이라고 단정 짓기는 어렵다고 판단되었다. 환경요인의 변화가 큰 하구역에서 환경요인의 변화에 따라 서로 다른 지역에서 적합한 서식환경이 형성되는 것으로 판단된다.

3.1.2 새섬매자기 생체량 변화와 지상부/지하부 비율

조사지역과 연도에 따른 새섬매자기 생체량변화에 대한 이원분산분석 결과 낙동강 하구 전 조사지역의 새섬매자기의 생체량의 경우 2005년 > 2008년 > 2010년 > 2009년 순으로 나타나, 2005년 이후 감소하는 경향을 보인다 2010년 다소 회복한 것으로 조사되었다($p < 0.0001$). 조사지역 중에서는, 명지갯벌에서 생체량이 가장 크고 백합등에서 생체량이 가장 적은 것으로 나타났다

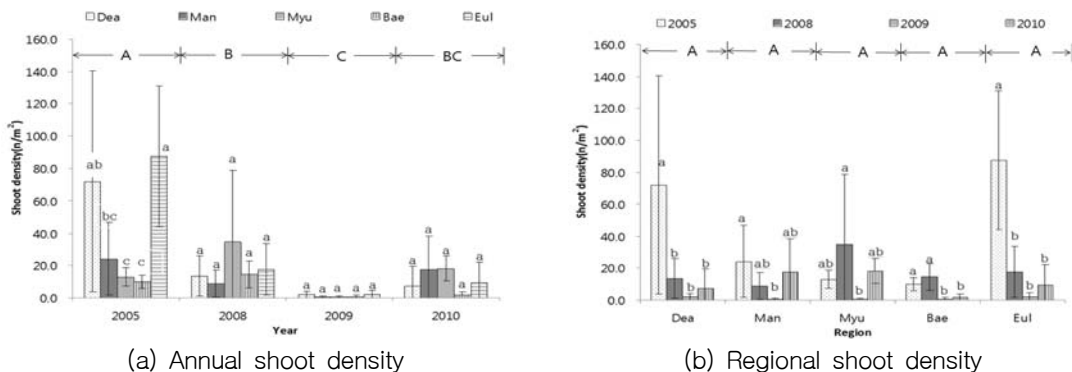


Fig. 2. Shoot density of *Scirpus planiculmis* in the Nakdong River Estuary. Small letters(a, b, c) and capital letters(A, B, C) in the figures show significantly differences among survey sites and years at $P < 0.05$, respectively.

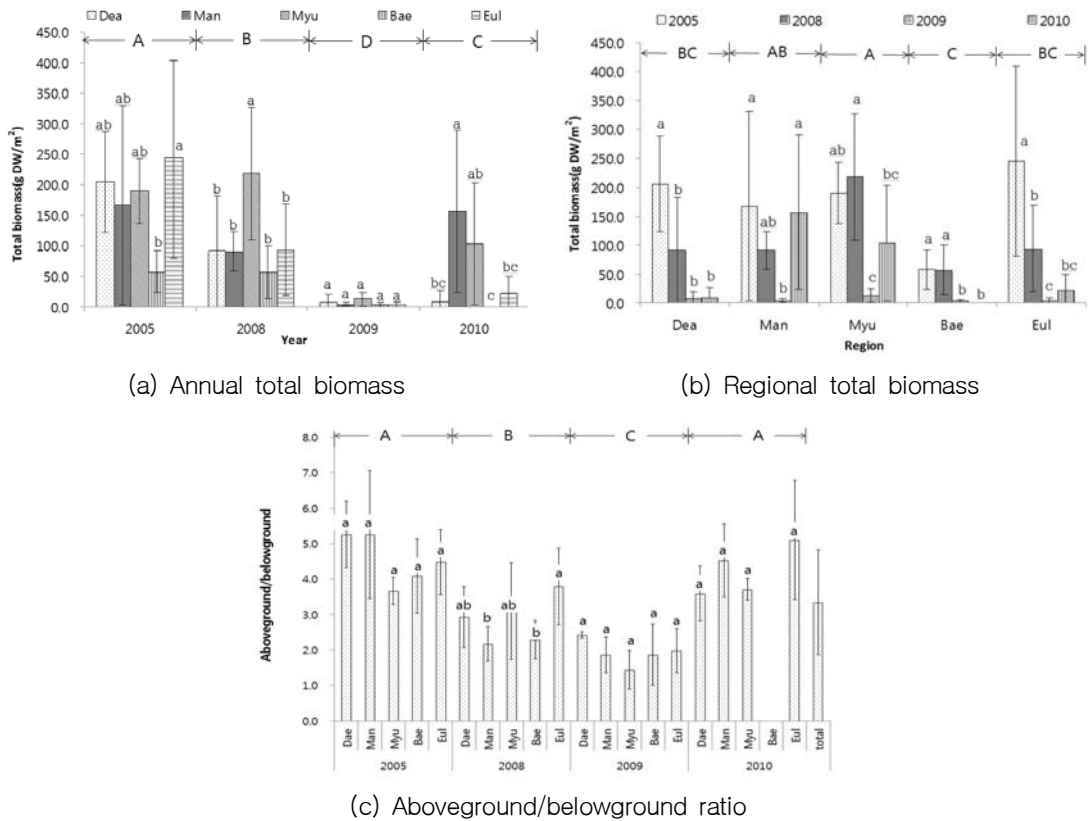


Fig. 3. Total biomass and aboveground/belowground ratio of *Scirpus Planiculmis* in the Nakdong River Estuary. Small letters(a, b, c) and capital letters(A, B, C) in the figures show significantly differences among survey sites and years at $P < 0.05$, respectively.

($p=0.0024$)(Fig. 3). 2005년에는 건중량으로 나타난 생체량이 새섬매자기 밀도가 가장 높게 나타난 을숙도에서 $244.8 \pm 164.0 \text{ g/m}^2$ 으로 가장 높은 생체량을, 그 다음으로 대마등, 명지갯벌, 맹금머리등으로 $166.8 \sim 205 \text{ g/m}^2$ 범위를 나타냈으며, 백합등($57.3 \pm 34.4 \text{ g/m}^2$)에서 가장 낮은 것으로 조사되었다. 2009년에는 $2.7 \text{ g/m}^2 \sim 12.5 \text{ g/m}^2$ 로 나타나 밀도와 마찬가지로 모든 지역에서 생체량이 급격하게 감소하였다가 2010년에 맹금머리등에서의 2005년의 95% 수준으로 회복된 반면, 백합등에서는 매우 낮은 생체량을 나타내어 2009년 대규모 감소 이후 각 지역에 따라서 생체량의 차이가 더 커진 것으로 나타났다(Fig. 3(a)). 각 조사 지역에서의 새섬매자기 생체량의 연도별 변

화를 살펴보면 2008년 명지갯벌에서 2005년에 비해 14.8% 증가한 반면, 을숙도, 대마등, 맹금머리에서는 각각 61.6%, 55.6%, 45.6%의 감소를 나타내었고 백합등은 2005년 수준을 보여주었다(Fig. 3(b)). 2009년의 급격한 감소 이후 맹금머리등에서만 생체량이 $156.8 \pm 134.6 \text{ g/m}^2$ 로 유의한 수준으로 회복한 것을 관찰 할 수 있었지만 대마등과 백합등에서는 여전히 2009년 수준으로 조사되어 이들 지역에서 생체량의 회복이 더디게 일어나는 것으로 나타났다.

새섬매자기의 지상부와 지하부의 비는 2005년에는 4.54 ± 0.70 , 2008년에는 2.86 ± 0.66 , 2009년에는 1.91 ± 0.35 , 2010년에는 4.23 ± 2.00 으로 나타나 식물 밀도 및 생체량의 급격한 감소가 있

었던 2009년에 지상부와 지하부의 비 또한 가장 낮게 나타났으며 연도별로도 유의한 수준의 차이가 있음을 알 수 있었다. 일반적으로 식물은 가장 제한되는 자원을 필요한 기관에 우선적으로 분배하는 것으로 알려져 있어(Tilman, 1988; Gedroc, 1996), 본 연구 결과 나타난 지상부와 지하부의 비 감소는 새섬매자기가 필요한 자원이 부족하여 짐으로 인하여 지하부에 영양물질을 더 많이 분배하였거나 또는 외부 요인의 변화에 대응하는 전략으로 영양기관을 이용하여 번식을 담당하는 새섬매자기의 지하부에 더 많은 영양물질을 저장하여 다음해에 번식을 용이하기 위한 일종의 생존 전략일 수도 있을 것으로 판단된다. 하지만 외부 환경 요인으로 인한 피해가 새섬매자기의 경우 지하부보다 지상부에서 더 크게 발생하였을 가능성도 배제할 수는 없다. 2008년을 제외한 각 조사년도의 지상부와 지하부의 비는 지역별 차이를 보이지 않았는데(Fig. 3(c)), 이는 낙동강 하구 새섬매자기의 생육환경이나 환경요인의 변화가 광범위한 지역에서 유사하게 진행된 것을 반영한 것으로 판단된다.

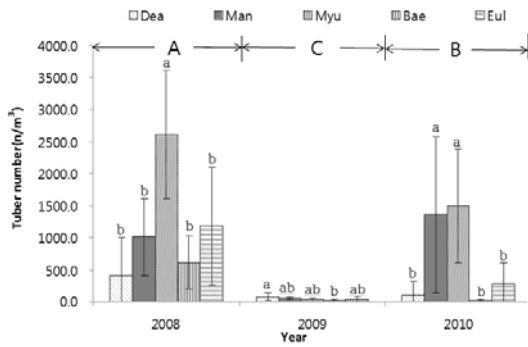
3.1.3 새섬매자기 괴경 생산량 변화

본 조사 기간 중에 낙동강 하구 전 조사지역의 새섬매자기의 괴경의 개수와 건중량 모두 2008년 > 2010년 > 2009년 순으로 감소한 것으로 나타나($p < 0.0001$), 새섬매자기의 밀도나 생체량과 같이 괴경도 2009년 감소한 것으로 나타났으며 이후 2010년에 다소 회복 중인 것으로 보인다. 조사 지역별로도 유의한 수준의 차이를 보였는데 명지갯벌에서 괴경의 생산량이 가장 많으며 대마등과 백합등에서 가장 적은 것으로 조사되었다($p < 0.0001$).

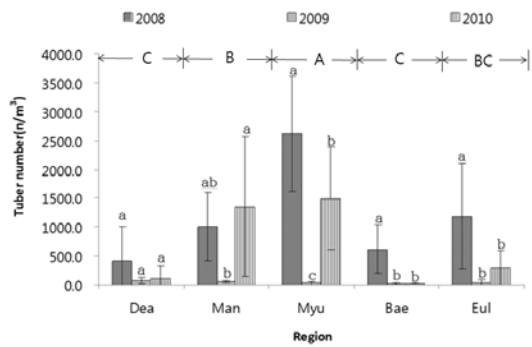
2008, 2009, 2010년에 조사된 새섬매자기의 괴경 개수와 괴경의 건중량으로 나타난 생산량을 연도별, 지역별로, 토심 0~15 cm 와 15~30 cm 로 나누어 발생 괴경수의 비율을 Fig.4에 나타내었다. 괴경 개수와 괴경 건중량의 변화를 비교한 결과, 그 변화 양상은 모두 연도별, 지역별로 유

사하게 변화하는 것으로 나타났다. 2008년에는 새섬매자기의 생체량이 가장 높게 나타났던 명지갯벌에서 $2,611 \pm 1,001$ 개/ m^3 로 가장 많은 괴경이 관찰되었고 나머지 지역에서는 411~1,178 개/ m^3 범위의 서로 유사한 수준으로 나타났다. 2010년에는 맹금머리등과 명지갯벌에서는 1,353~1,492 개/ m^3 수준으로, 대마등, 백합등, 을숙도에서는 19~283 개/ m^3 가 분포하는 것으로 나타났다(Fig. 4(a)). 연도별 변화를 살펴보면, 약 $1,166 \pm 1,023$ 개/ m^3 의 괴경 분포를 보였던 2008년의 약 3.4%의 괴경만이 2009년에 발생한 것으로 나타나 괴경 개수가 모든 조사 지역에서 크게 감소한 것으로 조사되었다. 하지만 2010년에는 일부 조사 지역에서 괴경 발생량이 다소 회복한 것을 확인할 수 있었는데 특히, 2008년에 비해 맹금머리등에서는 오히려 25% 증가하였고 명지갯벌의 경우에는 57% 수준으로 회복된 것이 관찰되었다. 다만 대마등, 백합등과 을숙도에서는 평균값의 증가는 관찰되었으나 통계적으로 유의한 수준에서의 증가를 나타내지는 않았다(Fig 4(b), (d)).

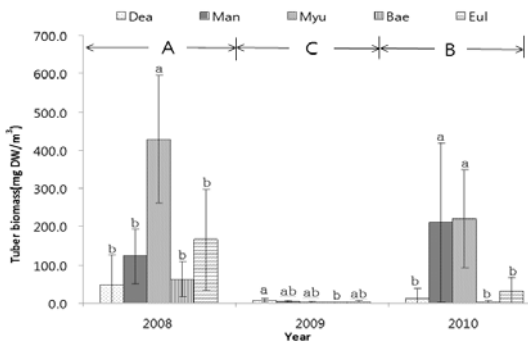
본 조사에서 깊이에 따른 괴경의 분포를 조사한 결과 0~15 cm 에서 36.0%, 15~30 cm에서 64.0%가 나타나 토심 15~30 cm 에서 상대적으로 더 많은 괴경이 분포하는 것으로 나타났다(Fig. 4(e)). 낙동강 하구에서의 이전 연구에서 김구연 등(2005)은 본 연구와 유사하게 표층보다 하층에서 더 많은 괴경이 분포한다고 보고한 바 있지만, 최성환 등(2000)은 간척지에서 새섬매자기의 괴경 분포는 0~5 cm 에서 76.7%, 5~15 cm 에서 21.2%, 10~15 cm 에서 2.1 %가 분포되어 15 cm 이하의 깊이에서 대부분의 괴경이 발견되었다. 유명환(2008)의 연구에서도 주로 표층인 6~10 cm 에서 집중분포(69%)하고, 16 cm 이하에서는 전혀 분포하지 않았다고 보고되어 본 연구와 차이를 나타냈다. 이와 같은 결과는 새섬매자기의 괴경의 토양 깊이별 분포가 지역에 따라 달라지거나 또는 특정한 깊이를 선호하기 보다는 환경에 따라 다를 수 있음을 보여준다고 판단된다.



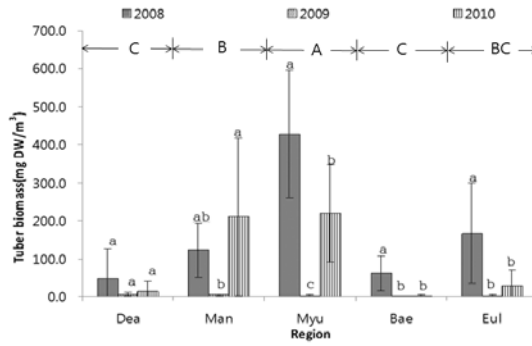
(a) Annual tuber number



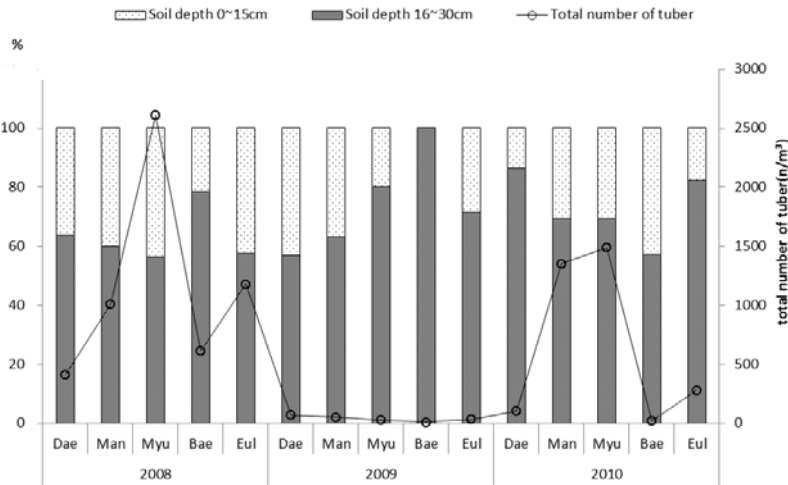
(b) Regional tuber number



(c) Annual tuber biomass



(e) Regional tuber biomass



(e) Ratio of tuber distribution along the soil depth

Fig. 4. Changes in tuber and ratio of distribution along the soil depth. Small letters(a, b, c) and capital letters(A, B, C) in the figures show significantly differences among survey sites and years at $P < 0.05$, respectively.

3.2 환경요인

일반적인 식물의 분포와 성장은 기후(Zhang, 2002), 토성(Rogel *et al.*, 2001), 수분과 염분농도(Christopher, 1993)와 같은 다양한 비생물적인 요소의 영향을 받으며, 특히 염습지에서는 염분농도가 식물의 패턴에 있어서 다른 요인보다 중요하게 작용한다고 알려져 있다(Pennings *et al.*, 2005).

토성은 식물의 성장에 영향을 주는 중요한 요소이며 특히 토성의 갑작스러운 변화는 식물 성장에 직접적인 영향을 줄 수 있는데 이중 모래성분이 증가하면 토양의 물보유량을 감소시키고 수분 증발을 증대시켜 특히 건기에 토양의 염분 농도를 증가시킬 수 있어 식물의 발아와 성장에 직간접적인 영향을 미칠 수도 있다. 사초과 식물인 *Cyperus esculentus* 와 *Scirpus validus*의 경우 성장은 미사질식토에서 가장 좋으며 그 다음 점토와 모래 순으로 조사된 바 있어 모래의 함량이 증가 될수록 성장이 감소한다고 보고하였다(Barko and Smart, 1978).

조사지역의 모래, 미사, 점토 함량과 식물성장 특성간의 상관분석을 실시한 결과 미사와 점토에 있어서는 양의 상관관계를, 모래함량에 있어서는 음의 상관관계를 나타낸 새섬매자기의 밀도 외에는 토성과 상관성을 갖지 않는 것으로 나타났다. 하지만 상관관계를 나타낸 밀도의 경우에도 토성과 유의한 수준의 상관관계는 나타내지 않아서 토성이 식물의 발아 및 성장에 미치는 영향은 적은 것으로 나타났다. 조사 지역의 토성변화를 분석한 결과 2008년과 2009년에 대마등 5와 을숙도 8을 제외한 지역에서 모래 함량이 증가하여 이 중 맹금머리 1과 명지 1에서는 양질사토에서 사토로의 토성변화가 있었다(Table 1). 2010년의 토성 분석결과 대마등 5와 을숙도 8에서 지속적인 모래 함량의 감소와 실트함량의 증가가 관찰되어 각각 사질양토에서 미사질 양토와 양질사토에서 사질양토로 토성의 변화가 관찰되었으며 그 외 지역에서는 일부 모래의 함량이 증가하였으나 전체적으로 토성의 변화가 그리 크지 않은 것으로 관찰되었다 (Table 1).

Table 1. Soil texture of each stations

Year	2008				2009				2010			
	Sand	Silt	Clay	Type	Sand	Silt	Clay	Type	Sand	Silt	Clay	Type
	%				%				%			
Dae 1	100.0	0.0	0.0	Sand	96.7	2.7	0.6	Sand	91.5	3.4	5.1	Sand
Dae 5	84.0	13.2	2.8	Loamy Sand	72.5	20.8	6.7	Sandy Loam	43.0	55.1	1.9	Silt Loam
Man 1	84.7	13.8	1.4	Loamy Sand	98.4	1.1	0.4	Sand	96.1	0.9	3.0	Sand
Man 2	89.2	9.6	1.3	Sand	97.7	2.0	0.4	Sand	95.5	1.6	3.0	Sand
Myu 1	80.5	19.5	0.0	Loamy Sand	98.0	1.7	0.4	Sand	96.7	0.9	2.4	Sand
Myu 5	93.4	5.9	0.7	Sand	97.3	2.1	0.6	Sand	95.1	1.9	2.9	Sand
Bae 3	92.0	7.1	0.9	Sand	NA	NA	NA		94.3	2.1	3.6	Sand
Bae 4	90.6	8.1	1.2	Sand	97.7	1.8	0.6	Sand	96.3	0.5	3.1	Sand
Eul 2	52.2	41.9	6.0	Sandy Loam	60.1	36.3	3.7	Sandy Loam	60.2	35.1	4.7	Sandy Loam
Eul 8	84.0	13.2	2.8	Loamy Sand	75.3	20.2	4.5	Loamy Sand	72.2	24.9	2.9	Sandy Loam

Dae : Daemadeung, Man : Mangumerydueng, Myu : Myungji, Bae : Baeghapdeung, Eul : Eulsukdo, NA : Not Available

전술한 바와 같이 2009년 새섬매자기의 성장 감소는 전체 조사지역에서 발생하였지만 토성의 변화는 일부 지역을 제외하고는 크게 일어나지 않아 토성의 변화에 따른 영향보다는 낙동강 하구에서 전체 새섬매자기 서식지역에 미칠 수 있는 환경 요인의 변화에 의한 영향일 가능성이 더 크다고 판단된다. 과도한 퇴적은 새섬매자기의 성장에 영향을 줄 수 있다고 알려져 있는데, 토양이 퇴적되면 상층의 토양무게가 증가되어 덩이줄기의 생장이 불량하여지며 새섬매자기의 생장이 감소하게 되면서 결국 개체군의 쇠퇴가 발생할 수 있다(유영한, 2008). 하지만 여운상(2009)은 2008년과 2009년의 낙동강 하구의 퇴적 특성을 분석된 결과에서 해당지역에 퇴적보다도 침식이 더 많이 진행되었다고 보고한바 있어 복잡한 하구 환경에서의 퇴적이나 침식에 의한 새섬매자기 생산력의 변동을 이해하기 위해서는 더 많은 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것으로 보인다.

기후요인으로 연구기간 동안의 기온·강수량과 조사지역의 염분농도에 큰 영향을 미치는 낙동강 하구둑에서의 방류량을 Fig. 5 에 나타내었다. 해

당기간(2005~2010년) 월평균 최고기온과 월평균 최저기온은 각각 27.7℃(2010년 8월)과 0.0℃(2005년 12월)이었으며, 연도별 유의한 수준의 온도 차이는 나타나지 않았다(p=0.9994). 해당 연구기간의 연평균강수량 또한 1,329.7±193 mm으로 편차가 크지 않았으며, 연도별로도 유의한 수준의 차이를 보이지 않았다(p=9694). 해당연구기간 동안 기온과 강수량은 매년 비슷한 수준인 것으로 조사되어 연도에 따라 유의한 수준의 변화를 보인 새섬매자기의 성장량에 있어서 기온과 강우량에 의한 영향은 그리 크지 않은 것으로 판단된다.

낙동강 하구역의 경우 1987년에 건설된 하구둑으로 인한 담수의 불연속적 방류는 낙동강 하구해역의 시·공간적 염분농도 분포에 변화를 일으키며 이는 하구 해역의 생물 서식환경에 악영향을 미친다고 알려져 있다(신성교 등, 2006). 낙동강 하구역의 1~6월의 총 누적방류량은 2005년 2.78×10^9 ton, 2006년 6.22×10^9 ton, 2007년 2.06×10^9 ton, 2008년 2.98×10^9 ton, 2009년 1.13×10^9 ton, 2010년 4.59×10^9 ton

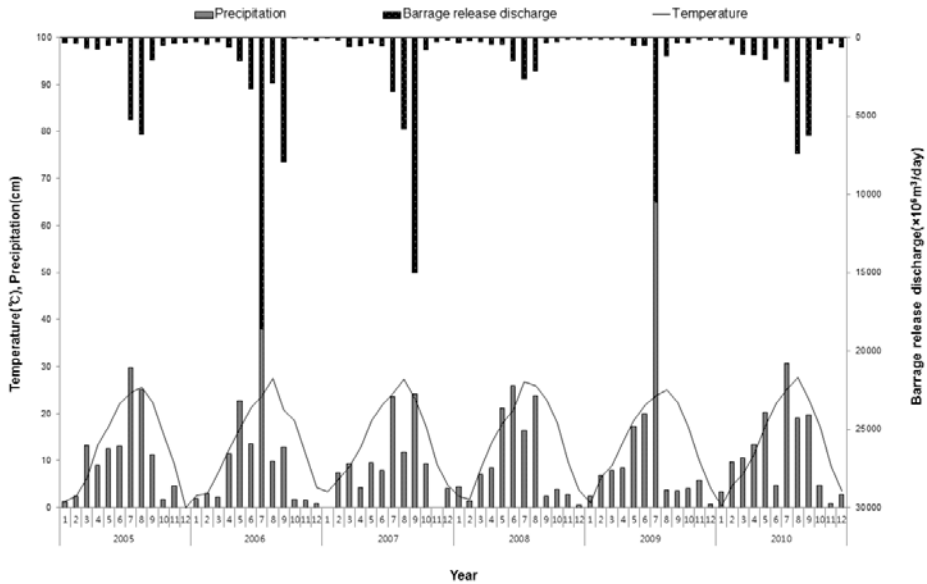


Fig. 5. Temperature, precipitation and discharge of the Nakdong river barrage in the studied area.(2005~2010)

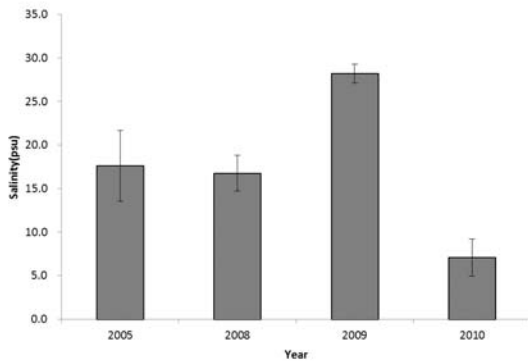


Fig. 6. Salinity of the neighboring brackish water in spring season.

등으로, 2009년 1~6월의 총 누적방류량은 2009년을 제외한 2005~2010년의 1~6월 총 평균누적방류량의 30.6%에 해당하는 현저하게 적은 양만이 방류된 것으로 나타났다. 이와 같은 방류량의 감소는 낙동강 하구 지역의 염분농도 상승에 크게 작용할 수 있으며 실제로 조사지역 주변해역의 봄철 염분농도도 2005년 17.6±4.0 psu, 2008년 16.8±2.1 psu, 2009년 28.2±1.1 psu, 2010년 7.1±2.1 psu로 새섬매자기의 성장 저해가 나타났던 2009년에 가장 높게 나타났다 (Fig. 6). 낙동강 하구역에서 새섬매자기 군락의 감소 원인을 2008년부터 시작된 가을철-봄철 가뭄으로 인한 낙동강 하구둑 방류량 감소와 이로 인한 기수역의 염분농도 상승에 따른 피해 가능성을 제시한 바 있다(여운상, 2009). 기수역의 염분농도가 상승하게 되면 건기 시 새섬매자기 서식지역의 토양 염분농도는 토양 수분 증발로 인하여 기수역 보다 더 높게 나타날 수 있다. 이자연 등 (2009)도 낙동강하구의 새섬매자기 서식지역을 포함한 대부분의 지역에서 2009년의 토양염도가 평균 32.98±4.85 ds/m로 조사되어 2006년과 2008년에 비하여 2.4~5.3 배 높게 나타났다고 보고한 바 있어, 낙동강 하구의 전 지역에서 나타난 2009년의 새섬매자기 성장감소는 기수역의 염분농도와 관련이 있을 것으로 판단된다.

기수역의 염분농도 변화는 해당 유역의 강수량

과 하구둑의 방류량에 직접적인 영향을 받는다. 최근의 전지구적인 기후변화와 국지적인 강우사상의 변화는 하구둑에 의하여 조절되는 기수역 생태계에 큰 영향을 줄 것으로 보여 이에 대비한 하구생태계 관리 기술의 개발 또한 시급하다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 낙동강 하구역에 우점하고 있는 새섬매자기의 2005년~2010년간의 변동과 환경요인을 주요 서식지별로 조사하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 낙동강 하구 주요 새섬매자기 서식지역에서 새섬매자기의 밀도를 비교한 결과, 2009년에는 대마등, 맹금머리등, 명지갯벌, 백합등, 을숙도에서 평균 밀도가 각각 1.9±2.5 개체/m², 0.4±0.7 개체/m², 0.4±0.6 개체/m², 0.7±0.9 개체/m², 2.2±2.7 개체/m²로 모든 조사지역에서 과거에 비해 급격하게 감소하였으며, 2010년에는 명지갯벌과 맹금머리등에서 각각 18.3±7.7개체/m², 17.5±20.7 개체/m² 발생함으로서 다소 회복 중인 것으로 판단된다.
- 2) 새섬매자기의 최대 출현지역이 매년 다르게 나타났는데, 2005년에는 대마등과 을숙도에서, 2008년에는 명지갯벌, 2009년에는 을숙도, 2010년에는 명지갯벌과 맹금머리등에서 가장 높은 밀도가 관찰되어 특정지역이 새섬매자기 서식에 적합한 환경이라고 단정 짓기는 어려우며, 환경요인의 변화가 큰 낙동강 하구역에서는 환경 요인의 변화에 따라서 매년 새섬매자기의 최적 서식지역도 변할 수 있는 것으로 조사되었다.
- 3) 조사기간 중 나타난 새섬매자기의 지상부:지하부의 비는 3.34±1.24였으며, 새섬매자기 생체량에 있어서 급격히 감소하였던 2009년에 가장 낮은 1.91±0.35로 조사되어 새

섬매자기의 성장감소는 지하부보다 지상부가 더 큰 것으로 나타났다.

- 4) 낙동강 하구역의 주요 새섬매자기 서식지역에서의 토심에 따른 새섬매자기의 괴경 분포는 0~15 cm 에서 36.0%, 15~30 cm 에서 64.0%가 나타나 토심 15~30 cm 에서 상대적으로 더 많은 괴경이 분포하는 것으로 나타났다.
- 5) 조사지역의 모래, 미사, 점토 함량과 식물생장 특성간의 상관분석을 실시한 결과, 새섬매자기의 밀도 외에는 토성과 상관성을 갖지 않는 것으로 나타났으며, 밀도의 경우에도 토성과 유의한 수준의 상관관계는 나타나지 않아서 토성이 새섬매자기의 발아 및 생장에 미치는 영향은 적은 것으로 나타났다.
- 6) 대상지역의 기온과 강수량이 새섬매자기 성장량에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 판단되었다. 하지만 새섬매자기 밀도와 생체량이 급격히 감소하였던 2009년에 새섬매자기의 출현 및 생장에 영향을 미칠 수 있는 낙동강 하구둑 방류량(1~6월)이 예년에 비해 크게 감소한 것으로 나타나 새섬매자기 군락의 쇠퇴가 낙동강 하구의 방류량 감소로 인한 기수역의 염분 농도의 증가와 관련이 있을 것으로 판단된다.
- 7) 기수역의 염분농도 증가는 기후변화에 따른 강수량 변화와 이에 영향을 받는 하구둑의 방류량 변화에 의하여 영향을 받을 수 있으므로 이에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 한다.

감사의 글

본 연구의 일부는 부산광역시에서 시행한 낙동강하구 생태계모니터링 연구의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

김구연. 2009. 낙동강하구 새섬매자기(매자기) 군락의 보전 및 증식방안. 부산지역환경기술개발센터. 39p.

김구연, 이찬우, 윤해순, 주기재. 2005. 낙동강 하구의 수생관속식물의 분포 변화와 수금류(고니류)의 먹이식물인 세모고랭이의 성장 변화. 환경생태학회지 28(5): 335-345.

김구연, 주기재, 김현우, 신건성, 윤해순. 2002. 낙동강 하류에서 수서무척추동물에 의한 정수식물의 낙엽분해. 한국육수학회지 35(3): 172-180.

김성환. 2009. 낙동강 삼각주연안 사주섬 퇴적환경 연구. 한국지형학회지 16(4): 119-129.

김종원, 류승원, 이진국, 박정원, 이울경, 심재원, 강영훈, 김수경, 주기재, 김구연, 도윤호, 이찬우, 윤주덕. 2009. 하천생태학 그리고 낙동강. 계명대학교 출판부. pp 289-290.

문성기, 성정숙, 이정훈. 2008. 낙동강 하구 사주섬의 식물상. 한국환경과학회지 17(12): 1331-1341.

부산광역시. 2011. 낙동강하구 생태계모니터링. 9p

신성교, 백경훈, 홍석진. 2006. 낙동강하구둑 건설에 따른 해역의 염분 영향 분석 및 하구둑 운영 개선방안, 현안연구 보고서. 부산발전연구원. 54p.

안순모, 이지영, 정신재. 2006. 낙동강 하구 갯벌에 생육하는 세모고랭이(*Schoenoplectus triqueter*)의 생체량 및 탄소, 질소 함량의 계절 변화. 한국습지학회지 8(3): 39-49.

여운상. 2009. 새섬매자기 보전과 복원. 하구 습지 생태계 보전 전략 세미나. pp 43-45

유영한. 2008. 한강하구 습지보호지역에서 새섬매자기 개체군의 쇠퇴 원인과 복원 방안. 한국습지학회지 10(2): 165-172.

유한삼, 유창일, 강운구, 류청로. 2007. 낙동강 하구역 삼각주 발달에 관한 문헌 고찰 연구. 한국해양공학회지 21(2): 22-34.

- 윤해순. 1991. 낙동강하구 간척지의 수생관속식물에 관한 연구. 한국생태학회지 14(1) 63-73.
- 이강수, 유숙종, 박석홍, 최선영. 1991. 간척지 우점잡초 새섬매자기의 생육특성. 한잡초지 11(2): 111-121.
- 이자연, 김창수, 이중헌, 김보라, 여운상, 성기준. 2009. 낙동강 하구의 서식지별 토양 특성에 관한 연구. 한국생태공학회 2009년 추계학술 발표회. pp 191-193.
- 최성환, 손영걸, 주경섭, 최주호, 김만호, 유용만, 이증주. 2000. 새섬매자기의 출아 및 생육특성. 한잡초지 20(4): 276-283.
- 환경부, UNDP/GEF 국가습지보전사업단. 2009. 낙동강하구의 습지보전과 현명한 이용을 위한 종합계획. 동아대학교 산학협력단. 19p.
- 황인택, 최정섭, 이병희, 홍경식, 조광연. 1994. Screening을 위한 새섬매자기 초기 생육 및 제초제 반응성. 한잡초지 14(4): 245-251.
- 해양수산부. 2002. 해양환경공정시험방법.
- Barko JW and Smart RM. 1978. The growth and biomass distribution of two emergent freshwater plants. *Cyperus esculentus* and *Scirpus validus*, on different sediments. Aquatic Botany 5: 109-117.
- Christopher N. 1993. Seasonal flooding, soil salinity and primary production in northern prairie marshes, Oecologia 95: 499-505.
- Gedroc JJ, McConnaughay KDM, Coleman JS. 1996. Plasticity in root/shoot partitioning : optimal, ontogenetic, or both? Functional Ecology 10: 44-50.
- Möller and Spencer T. 2002. Wave dissipation over macro-tidal salt marshes : Effects of marsh edge typology and vegetation change. Journal of Coastal Research 36: 506-521.
- Pennings SC, Grant MB, Bertness MD. 2005. Plant zonation in low-latitude salt marshes: disentangling the roles of flooding, salinity and competition. Journal of Ecology 93(3): 159-167.
- Rogel JA, Silla RO, Ariza RA. 2001. Edaphic characterization and soil ionic composition influencing plant zonation in a semiarid Mediterranean salt marsh. Geoderma 99: 81-98.
- Tilman D. 1988. Plant strategies and the dynamics and structure of plant communities. Princeton University Press, Princeton, N.J. USA. pp 363.
- van Sluis JW, Liklema L. 1984. Water quality aspect of the Nakdong Estuary barrage. Water Science & Technology 16: 243-252.
- Zhang JT. 2002. A study on relations of vegetation, climate and soils in Shanxi province, China. Plant Ecology 162: 23-31.

- 논문접수일 : 2011년 08월 12일
- 심사의뢰일 : 2011년 08월 24일
- 심사완료일 : 2011년 11월 30일