

낙동강 하구의 수생관속식물의 분포 변화와 수금류(고니류)의 먹이식물인 세모고랭이의 성장 변화

김구연 · 이찬우 · 윤혜순¹ · 주기재*

부산대학교 자연과학대학 생물학과, ¹동아대학교 자연과학대학 생물학과

Changes of Distribution of Vascular Hydrophytes in the Nakdong River Estuary and Growth Dynamics of *Schenoplectus triqueter*, Waterfowl Food Plant

Kim, Gu-Yeon, Chan-Woo Lee, Hae-Soon Yoon¹ and Gea-Jae Joo*

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

¹Department of Biology, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

ABSTRACT: A study on changes on the distribution of vascular hydrophytes and the growth pattern of *Schenoplectus triqueter* (*Scirpus triqueter*) was undertaken at the Nakdong River estuary from 2002 to 2004. The change was due to physical alteration of the estuary for the past 25 years. These plant species are the major food sources for winter waterfowl. A total of 32 species of vascular hydrophytes from 17 families were found in the West Nakdong River (freshwater), the main channel of Nakdong River (freshwater) and the Nakdong River Estuary (brackish water). After the construction of the barrage on the estuary in 1987, the number of hydrophytes has remarkably increased to 17 species (5 species in 1985) in the main channel of the River. In particular, a community of *Eurale ferox* was found at the backwater wetland of the Daejeo side of the main channel. The introduced species of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* that were epidemic in 2001 at West Nakdong River was not found any more. The other species such as *Nymphoides indica*, *Myriophyllum spicatum*, *Ruppia* spp. were rediscovered. The large area (about 1,300ha) of *Zostera* spp. was the main sources of food for swans, but disappeared because of direct and indirect impacts of reclamation in the River estuary. Currently, there remains a small patch of *Zostera* spp. and about 250ha of *S. triqueter*. *Schenoplectus triqueter* grew mostly between April-September and tuber formed, between September-October. The growth of *S. triqueter* up to 60~80cm in length was observed in 5 sites out of the 7 sites in brackish area. Tubers of *S. triqueter* were eaten by waterfowls such as swans as winter food. In five sites, tubers took 44~57% of total biomass in October. Tubers were found in deep layers; 5~15cm (9%), 15~25cm (28%), 25~40cm (55%), below 40cm (6~7%). The distribution of vascular hydrophytes has remarkably changed in the Nakdong River Estuary due to the reclamation of the area. In order to determine the extent of changes of the distribution of these plants and the carrying capacity of the area for waterfowl, an intensive research is urgently needed.

Key words: Nakdong River estuary, *Schenoplectus triqueter* (*Scirpus triqueter*), Vascular Hydrophytes, *Zostera* spp.

서 론

하구(estuary)는 외해와 연결되어 해류의 순환이 있으면서 강의 담수와 만나는 전이수역에 형성되는 독특한 생태계(Cameron and Pritchard 1963, Pritchard 1967)로 다양한 서식환경 제공으로 높은 종 다양성을 가진다. 생물상은 조석의 세기, 파랑의 크기, 염분 농도 등의 변화에 따라 다양한 형태의 서식처가 형성됨으로 환경 특성과 밀접한 관계가 있다(Day et al. 1989). 특히, 염습지의 저토에 뿌리를 박은 수생식물은 조석활동에 의해 주기적

으로 침수와 노출을 반복하며, 노출정도와 염분의 구배 그리고 탁도에 따라 생장에 영향을 받는다. 또한 퇴적물 바닥에 서식하는 어패류 등의 생물군도 탁도와 염분 등에 의하여 많은 영향을 받으며 서식한다. 하구 생태계는 상업적으로 가치가 있는 어류를 포함하여 조류와 포유류 등 다양한 야생생물 종의 서식처이며 어류의 산란장과 은신처이다. 하구 주변의 습지는 퇴적오염물의 정화기능을 가지며, 하구식물과 수초는 토양의 침식을 방지함으로써 해안선을 안정하게 유지하는 기능을 가지며, 물의 급격한 증가를 완화시켜 줌으로 육지와 해양의 자연적인 완충지대 역할을 한다. 이러한 특성으로 하구는 지구상 생태계

* Corresponding author; Phone: +82-51-510-2258, Fax: +82-51-583-0172, e-mail: gjjoo@pusan.ac.kr

중에서 단위면적당 환경가치가 가장 큰 서식처의 하나로 알려져 있다(Costanza *et al.* 1997).

하구의 생태적, 사회·경제적 중요성에도 불구하고 세계적으로 많은 하구생태계가 인간활동으로 변형되거나 서식처가 소실되었다(Davidson 1991, Suchanek 1994, Gray 1997, McLusky 1999). 우리나라의 경우 하구의 대부분은 농업용지, 산업용지 그리고 주거용지 조성 등의 목적으로 이루어진 간척사업과 연안개발로 극히 일부를 제외하고는 자연성이 높은 하구는 거의 없다. 미국(알래스카와 하와이 포함)의 경우 농업과 개발을 위하여 약 50%가 소실되었고(Smith and Smith 2002), 네덜란드는 1500년부터 간척이 시작되어 전체 갯벌면적의 92%가 소실되었고, 일본은 1200년 이후 약 90%의 갯벌이 간척되었다(이 등 2001). 이는 하구의 생태적 가치를 인식하지 못하고 쓸모없는 땅이라는 인식이 자리잡고 있었던 사회적 환경에 기인한 결과이다. 그러나 최근 들어 북미를 비롯하여 유럽 그리고 아시아 지역까지도 하구의 가치인식이 증대되고 있으며, 하구생태계에 대한 전반적인 연구와 파괴된 하구의 복원을 위한 연구가 확대되고 있는 실정이다(Pethick 2002).

우리나라의 대표적인 하구의 하나인 낙동강 하구는 삼각주와 연안 사주가 잘 형성되어 있고, 각 사주의 연안과 사주간에는 조석으로 넓은 갯벌이 발달되어 있다. 각 사주에는 다양한 해안성 식물이 분포하며 특히 갈대가 우점한다. 조석에 의해 침수되었다가 노출되는 넓은 갯벌에는 세모고랭이(*Scenoplectus triqueter*, 이명 *Scirpus triqueter*) 군락이 펼쳐져 있다. 또한 갯벌에는 갯지렁이를 비롯한 다양한 저서무척추동물과 엽낭게, 말뚝게 그리고 조개류 등 다양한 생물상을 가지는 복잡한 하구생태계를 이루고 있다. 특히 이 지역은 동아시아~호주 철새 이동로의 중앙에 위치하고 있어 겨울철새의 월동과 이동 철새들의 중간기착지로서 세계적으로 중요한 지역 중의 하나이다. 낙동강 하구는 1966년 지형적인 독특함으로 천연기념물로 지정되었고(문화관광부 1966), 연안오염특별관리해역(환경부 1982), 자연환경보전지역(건설교통부 1988), 자연생태계보전지역(환경부 1983), 습지보호지역(환경부 1999) 등 중복 지정되어 법적인 보호를 받고 있는 지역이다. 또한 천연기념물인 고니류의 국내 최대 월동지로서 년 2,500~3,000마리(국내 개체군의 70%)가 찾는 중요한 서식처이기도 하다(이찬우 외, 미발표자료). 낙동강 하구를 찾는 조류들은 70% 이상이 겨울철새로 하구의 여러 사주와 넓은 간척지를 휴식처로 이용하고 하구 일원에 서식하는 저서생물이나 염습지 식물과 서낙동강의 대형 수생식물을 먹이로 이용하여왔다(Doornbos *et al.* 1986).

낙동강 하구의 삼각주와 갯벌 생태계는 보전 가치가 매우 높은 곳임에도 불구하고 많은 물리적 변화를 겪었다. 서낙동강은 1934년 농업용수 확보를 위해 대저(대동)수문과 녹산수문이 건설되면서 호수화 되었으며(윤 등 2002), 농업용수와 공업용수의 염해를 방지하고 교통망 확충의 필요성에 의해 1983년부터 1987년까지 하구둑이 건설되었다. 또한 공업단지, 주거단지 등 계속된 개발에 따라 갯벌 매립, 해안선 변화 그리고 준설에 의

한 저질 변화 및 혼탁도가 증가하는 등 생태계에 많은 교란이 있었다. 이러한 교란은 하구 생태계의 복잡한 먹이망과 일차 생산을 담당하는 중요 구성 요소인 수생식물의 분포와 성장에 큰 영향을 미쳤으며, 하구둑 건설로 인한 기수역의 담수화는 수생식물의 분포변화를 가져왔다. 또한 낙동강 하구 갯벌의 매립은 주요 먹이식물인 거머리말류와 세모고랭이의 분포에 큰 변화를 가져왔다.

거머리말류와 세모고랭이는 조석의 영향을 받는 하구 습지식물로 낙동강 하구 수금류의 중요한 먹이식물이다(Doornbos *et al.* 1986). 거머리말류와 같이 해수에 적응되어 일생을 수중 속에서 보내며, 연안이나 하구생태계에서 자라는 현화식물을 통칭하여 잘피(seagrass)라고 한다. 잘피는 하구로부터 유입된 과도한 양의 무기염류들을 빠른 속도로 흡수하여 제거하고, 많은 야생동물의 중요한 서식처 기능을 가진다. 또한 식물체 자체가 야생동물의 먹이원으로 이용되는 등 중요한 자원이다. 약 50~60여종의 잘피는 전세계 거의 모든 해안에 널리 분포하며 현재 분포면적이 크게 감소하고 있는 상태이다(Short and Wyllie-Echeverria 1996). 우리나라의 잘피 군락의 훼손은 과도한 생활하수의 유입과 무분별한 매립이 가장 큰 위협요소로 알려져 있다(이와 이 2001).

낙동강 하구에서 갈대 다음으로 우점하는 식물은 세모고랭이이다. 우리나라에 분포하는 *Scirpus* 속 중 매자기(*S. fluviatilis*)와 큰고랭이(*S. tabernaemontani*)는 주로 논이나 연못과 같은 담수 습지에 자생하며, 좁매자기(*S. maritimus*), 새섬매자기(*S. planiculmis*) 그리고 세모고랭이는 해안가의 하구 습지에 주로 분포한다. 북미와 유럽의 경우 좁매자기는 기수역 연안 갯벌 습지의 우점종이며, 생리 및 생태적인 연구가 활발히 진행되어왔다. *Scirpus* 속 식물에 관한 연구는 서식 분포(Coops *et al.* 1994), 형태(Coops *et al.* 1996, Lentz and Dunson 1998), 오리류와 물고기 등의 먹이식물(Giroux and Bédard 1987, Amat 1995, Esselink *et al.* 1997), 염분과 수심 구배에 대한 적응(Coops and der Velde 1996, Hootsmans and Wiegman 1998, Lewis and Weber 2002) 등이 있으며, 오염물질 정화기능 및 영양물질 제거기능(Ansola *et al.* 1995, Christian *et al.* 2005) 등이 연구되었다. 그러나 동북아시아에 분포하는 세모고랭이의 경우 윤(1987, 1991)의 낙동강 하구에서의 분포, 성장 등에 관한 연구를 제외하고는 일본과 중국의 식물상 조사의 일환으로 일부 지역에서 분포현황이 보고되어 있는 정도이다. 생태적으로나 경제적으로 중요한 식물임에도 불구하고 장기간 서식처의 물리적 변화에 따른 분포변화와 성장 특성에 관한 연구가 미진한 실정이다.

낙동강 하구는 낙동강 본류로부터 분기된 서낙동강과 낙동강 본류 그리고 해안쪽으로 하구가 발달된 지역이다. 서낙동강은 2개의 수문이 설치되면서 본류에서 지류로 변화였고, 1987년 하구둑이 완성되면서 하구둑을 경계로 낙동강 본류와 기수역인 하구로 구분이 되었다. 본 연구는 낙동강 하구의 물리적 변화에 따른 수생식물의 종조성과 서식처 변화를 파악하고, 낙동강 하구에서 수금류의 주요 먹이식물인 잘피와 세모고랭이의 분포 변화 및 하구 내의 세모고랭이 성장 정도를 파악하였다. 연구내

용은 첫째, 과거 기수역이었던 구포 지점 이하의 낙동강 본류, 서낙동강 그리고 하구둑 아래의 낙동강 하구의 수생식물의 종 조성 변화, 둘째, 거머리말류와 세모고랭이의 주요 서식처 변화 파악, 셋째 하구둑 아래의 낙동강 하구 내 세모고랭이의 계절적 성장과 지역적 성장 차이를 측정하여 하구 생태계의 물리적 교란이 식물군락의 분포와 성장에 미치는 영향을 파악하고자 한다. 이러한 수생식물의 동태 변화를 파악하는 것은 낙동강 하구 생태계의 시공간적 구조 변화 파악에 큰 도움이 될 것이며 하구 갯벌 생태계의 보전과 복원을 위한 일차적인 기초자료가 될 것이다.

조사지역 및 조사방법

조사지 개황

본 연구의 조사지는 낙동강 하류의 하구지역으로 현재의 본류로부터 분기된 담수지역인 서낙동강, 하구둑을 경계로 위쪽의 낙동강 본류, 그리고 기수역인 하구둑 아래의 낙동강 하구로 구분하였다(Fig. 1). 서낙동강은 1934년에 농업용수의 이용과 치수를 위하여 대저수문과 녹산수문이 설치된 이후 호소형 하천의 수문 특성을 나타내며, 유역면적이 303.09km²로 연중 대부분의 기간 동안 수위가 정체되어 있다(윤 등 2002). 서낙동강 주변은 농경지와 화훼단지 등으로 이용되고 있으며, 수변의 갈대군락은 선착장과 축대 쌓기 등으로 거의 파괴되었고 생활하수와 농경지로부터의 오수가 바로 유입되어 수질의 부영양화에 따른 수생식물의 변화가 큰 지역이다. 현재의 하구둑으로부터 약

40km의 상류구간은 원래 기수역으로 본류 구간이었으나 1987년 하구둑 건설로 담수화되었으며 장마기간을 제외한 기간 동안은 수위가 안정되어 있다. 낙동강 본류구간의 둔치에는 체육공원, 야생화단지가 조성되었고, 소단위의 농경지가 있으며 수변부는 갈대군락이 양호한 상태로 분포하고 있다.

낙동강 하구는 을숙도를 비롯하여 맹금머리, 백합등, 도요등, 신자도, 장자도 그리고 대마등으로 구성되어 약 40km²의 사주와 갯벌로 이루어져 있다. 간만의 차가 비교적 적지만 간조시에는 광활한 갯벌이 형성되어 조간대를 따라 조류들이 채식과 휴식지로 이용하는 자연환경을 갖추고 있다. 각 사주 간에는 간석지로 연결되고, 간석지에는 세모고랭이 순군락이 형성되어 있다. 명지와 대마등 간의 간석지와 백합등과 도요등의 간석지에는 갈대군락이 원형 또는 장타원형의 군락을 이루고, 전체적으로 갈대가 확산되어가고 있다.

조사지역은 수생식물의 종조성과 분포변화 관찰을 위하여 크게 A, B, C 3지역으로 구분하였으며, 낙동강 하구 주요 먹이식물인 세모고랭이의 생체량은 맹금머리, 백합등, 신자도, 장자도 그리고 대마등의 갯벌에서 조사하였다. 또한 세모고랭이의 계절에 따른 성장변화를 측정하기 위해 을숙도 남단 갯벌과 명지 갯벌 두 지점을 선정하였다(Fig. 1). 두 지점은 자연성이 높고 인간활동에 따른 교란이 적으며, 겨울철에 월동을 위해 하구를 찾는 수금류가 가장 먼저 이용하는 지역이다.

연구방법

낙동강 하류의 서낙동강, 낙동강 본류 그리고 낙동강 하구의 수생관속식물의 식물상은 2002년 9월부터 2004년 8월까지 구획별로 3회에서 10회에 걸쳐 현장에서 갈고리를 이용하여 식물을 채취 후 분석하였으며, 수생관속식물의 동정은 최(2000)와 이(2003) 그리고 Kadono(2004)의 도감을 참고하였다. 수생관속식물의 적용범위는 양치식물 이상과 유관속이 있는 초본성 수생관속식물로 한정하였다(Sculthorpe 1967).

현장조사와 문헌조사를 함께 실시하여 지난 25년간의 수생식물 분포 변화를 파악하였다. 현장조사는 GPS(Garmin GPS V)와 거리측정기(Nikon Laser 400)를 이용하여 주요 군집의 분포를 파악하였으며, 항공사진 그리고 문헌을 종합하여 1:25,000지형도(국립지리원 1996)를 기본도로 현존식생도를 작성하였다. 하구둑(1983~1987) 축조공사 전후의 정과 최(1983, 1985), 윤(1987), 최근 조사된 윤 등(2002)의 결과와 본 조사 결과를 거머리말과 세모고랭이를 중심으로 비교하였다.

세모고랭이의 계절별 성장은 2002년 4월, 7월, 9월 그리고 10월, 총 4회에 걸쳐 실시하였으며, 각 지점별 세모고랭이의 생체량 비교는 2003년 9월 5일, 10월 25일 2회에 걸쳐 방형구(0.5m×0.5m)를 이용하여 무작위로 선정하여 식물체를 지상부와 지하부로 구분하여 3회 이상 채취하였다. 지하부는 괴경(tuber) 생성을 고려하여 50cm 깊이까지 채취하였다. 채취된 세모고랭이는 실험실로 운반한 후 흐르는 물로 씻어서 줄자와 디지털 캘리퍼스를 이용하여 각 개체의 길이와 기부직경을 측정

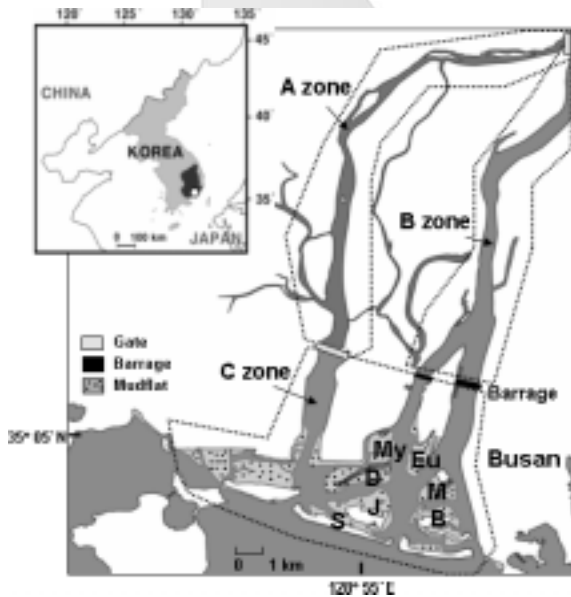


Fig. 1. Map showing the study sites in the lower Nakdong River (A, West Nakdong River; B, Nakdong River (main channel); C, Nakdong River (Estuary); Eu, Eulsukdo; My, Myungji; B, Baeghapdeung; S, Sinjado; J, Jangjado; D, Daemadeung; M, Mangumery).

하였다. 측정된 시료는 기관별로 구분하여 드라이오븐에서 80°C에서 72시간(무게의 변화가 없을 때까지) 동안 건조시킨 후 건중량을 측정하였다.

을속도와 명지의 세모고랭이 준락의 토양은 표층의 자갈과 낙엽을 제거한 후, 채니기를 이용하여 15cm 깊이까지의 토양을 채취하였다. 토양환경요인은 시료를 음건시키고 2mm 체로 쳐서 통과한 토양시료를 증류수와 1:5(W/V)로 혼합하여 30분간 진탕시켜 2시간 동안 방치한 후 상부에서 측정하였다. 유기물 함량(Organic Matter)은 105°C에서 건조된 토양을 500°C의 전기로에서 6시간 회화시켜 작열 감량을 백분율로 환산하였다(Brower *et al.* 1997, ASTM D 2974). 토성(Soil texture)은 체분석(Seive Analysis, ASTM D422-63)과 비중계분석(Hydrometer Analysis, ASTM D422-63)을 병행하였으며, 분류체계는 미국농무성(USDA) 체계에 의한 삼각도표법 토성분류를 이용하였다.

각 조사정점에 따른 세모고랭이 성장 차이는 분산분석 one-way ANOVA를 이용하였으며, 통계적 유의수준은 $P < 0.05$ 를 기준으로 하였다. 사후 분석으로는 Duncan의 다중범위 검정을 이용하였다. 자료 분석은 윈도우용 SPSS 11 프로그램을 활용하였다.

결과 및 고찰

조사지의 환경 특성과 물리적 변화

낙동강 하구는 지난 2000여 년간 상류로 부터의 퇴적물로 인해 많은 변화를 거듭하여 1970년대에 들어 현재의 모습에 이르렀으나 1980년대 초반부터 도시화와 산업화로 다양한 물리적 변화가 일어났다. 그림 2의 ①지역은 1970년대에 육상과 섬을 연결하기 위하여 갯벌 사이를 매립한 것으로, 이 시점부터 낙동강 하구의 해안선 변화가 본격적으로 시작되었다. 1983년부터 1987년까지 하단과 을속도 그리고 명지를 이어주는 하구둑이 건설되었고, 1990년대 들어서면서 주거단지 건설을 위하여 명지 갯벌을 매립하였으며, 국가공단 및 산업부지 조성을 위하여 신호와 녹산 갯벌을 매립하였다. 낙동강하구의 물리적 변화는 낙동강 하구의 1980년대와 비교하여 해안선이 단조로워지고 총 2,893ha의 갯벌이 문화재보호구역에서 해제되었다(Table 1).

하구둑의 건설로 삼랑진까지 기수역을 유지하던 낙동강 본류는 거의 담수화 되었다. 낙동강 하류 수계의 염분농도의 변화를 살펴보면, 하구둑 건설 전인 1983년 하구둑 상부의 낙동강 본류는 염분농도가 5~18ppt의 범위로 기수역 생태계를 이루고 있었으나 현재의 낙동강 본류는 0.5~5ppt로 거의 담수역으로 바뀌었다(Table 2).



Fig. 2. Physical changes of the Nakdong River Estuary.

Table 1. Physical changes of the Nakdong River Estuary

No.	Content	Date (area; ha*)
	- Reclamation for the Shin-ho agricultural area	1974
①	- Construction for Shin-ho Residential Area	1989(60ha)
	- Construction for Shin-ho Industrial Complex	1994~1997(46ha)
②	- Construction of estuary barrage (reorganization of islands)	1983~1987(180ha)
③	- Reclamation for the Janglim and Dadae Industrial Complex	1987~1988(132ha)
④	- Reclamation for the Noksan agricultural area	1984(290ha)
	- Reclamation for the Noksan Industrial Complex	1990~1996(679ha)
⑤	- Reclamation for Myoung-gi Residential Area	1990~2000(161ha)
⑥	- Eulsukdo(sanitary landfill 1 st step, 2 nd step)	1992~1997
	- Reclamation for the New Port construction	1997~ (1,309ha)

* ha*; permitted area from the Natural Monument Committee.

Table 2. Salinity variation of the lower Nakdong River on the before and after construction of Estuarine barrage

Site	Salinity range (ppt)		
	1983*	1992**	2004(this study)
A ; West Nakdong River	-	Oligohaline 0.5~5(n=4)	Fresh 0~0.5(n=5)
B ; Nakdong River	Mesohaline 5~18(n=3)	-	Oligohaline 0.5~5(n=4)
C ; Nakdong River Estuary	Hyperhaline > 18(n=5)	-	Hyperhaline > 18(n=5)

* Data from Chung and Choi(1983) ; B-Gupo, Magdorij, C-Myungji, Hadandong.

** Data from Ha(1993) ; A-Dunchido, Garak.

낙동강하류 수생관속식물의 식물상과 분포 변화

서낙동강, 낙동강 본류 그리고 낙동강하구에 생육하는 수생관속식물은 총 17과 32종 이었다(Table 3). 이를 생활형을 기준으로 분류하면 침수성(submerged) 수생식물 12종, 부엽성(floating-leaved) 수생식물 6종, 부유성(free-floating) 식물 4종, 추수성(emerged) 수생식물 10종이었다. 염분이 있는 하구에 서식하는 수생관속식물은 줄말과 애기거머리말, 갈대 그리고 세모고랭이 4종이 관찰되었다.

서낙동강에서는 16과 30종의 수생관속식물이 관찰되었다. 1985년(정과 최)과 2001년(윤 등 2002)은 각각 16과 33종, 15과 26종을 보고하였다. 2001년 서낙동강 수면을 뒤덮었던 외래식물인 부레옥잠과 물상추 준락은 더 이상 관찰되지 않았다. 서낙동강의 수생관속식물 분포는 주변의 많은 식당 건설, 수변부

Table 3. Flora list of the vascular hydrophytes in the lower Nakdong River

Family name	Scientific name	West Nakdong River			Nakdong River		Nakdong River Estuary	
		1985* ^{2,3}	2001* ⁴	2004	1983* ^{1,2}	2004	1983* ^{1,3,4}	2004
Salviniceae	<i>Salvinia natans</i>	○	○	○		○		
Nymphaeaceae	<i>Euryale ferox</i>	○	○	○		○		
	<i>Nelumbo nucifera</i>	○	○	○				
Ceratophyllaceae	<i>Ceratophyllum demersum</i>	○	○	○		○		
Hydrocaryaceae	<i>Trapa japonica</i>	○	○	○		○		
		○						
Halorrhagaceae	<i>Myriophyllum spicatum</i>	○		○	○			
Gentianaceae	<i>Nymphoides peltata</i>	○	○	○		○		
	<i>N. indica</i>	○		○				
Scrophulariaceae	<i>Limnophila sessiliflora</i>			○				
Lobeliaceae	<i>Lobelia chinensis</i>	○	○					
Typhaceae	<i>Typha orientalis</i>			○		○		
	<i>T. angustata</i>	○	○	○				
Potamogetonaceae	<i>Ruppia maritima</i>			○			○	○
	<i>Potamogeton cristatus</i>	○	○	○				
	<i>P. malaianus</i>	○	○	○				
	<i>P. crispus</i>	○	○	○	○	○		
	<i>P. berchtoldii</i>	○	○	○				
Najadaceae	<i>Najas marina</i>	○						
	<i>N. minor</i>	○		○				
Zosteraceae	<i>Zostera marina</i>						○	
	<i>Zostera noltii</i>						○	○
	<i>Phyllospadix iwatensis</i>						○	
Alismataceae	<i>Sagittaria pygmaea</i>	○	○					
	<i>S. trifolia</i>	○	○	○				
	<i>S. aginashi</i>	○	○	○				
Hydrocharitaceae	<i>Vallisneria asiatica</i>	○	○	○	○	○		
	<i>Hydrilla verticillata</i>	○	○	○		○		
	<i>Hydrocharia dubia</i>	○	○	○		○		
Gramineae	<i>Zizania latifolia</i>	○	○	○		○		
	<i>Phragmites australis</i>	○	○	○	○	○	○	○
	<i>Scirpus triqueter</i>	○	○	○	○	○	○	○
Araceae	<i>Pistia stratiotes</i>		○					
Lemnaceae	<i>Spirodela polyrhiza</i>	○	○	○		○		
	<i>Lemna paucicostata</i>	○	○	○		○		
Pontederiaceae	<i>Eichhornia crassipes</i>		○					
	<i>Monochoria korsakowi</i>			○				
	<i>M. vaginalis</i> var. <i>plantaginea</i>	○	○					

*¹ Data from Yoon(1987), *² Data from Chung and Choi(1983), *³ Data from Yoon *et al.*(2001), *⁴ Data from Chung and Choi(1985).

의 호안조성 그리고 잦은 준설로 오염물 유입과 수심이 깊어지는 등 수생관속식물 서식환경이 악화되어 분포면적은 줄어들고 있는 실정이다. 2001년 조사에서 소실한 것으로 판단되었던 이삭물수세미, 어리연꽃 등이 2004년 조사에서 관찰되어 1985년 조사결과와 비교하여 수생관속식물 종다양성은 비슷하게 회복된 것으로 나타났다. 둔치지역 등 일부 지역에서 공인 조성 등을 위해 토양을 파헤쳐 놓은 곳에 물이 채워지면서 기존 토양에 묻혀있던 종자의 발아와 인근 논과 수로를 통한 수생관속식물 유입으로 새로운 수생식물 분포지가 조성된 결과로 사료된다.

낙동강 본류에서 관찰된 수생관속식물은 12과 17종이었다. 1985년의 조사 결과와 비교하여 수생식물의 종조성과 분포에 큰 변화가 관찰되었다. 1985년 조사에서 이삭물수세미와 말즘 등 5종만 관찰되었으나 본 조사에서는 생이가래를 비롯하여 마름과 자라풀 등 다양한 수생식물이 관찰되기 시작하였다. 본류의 중심부는 수심이 깊어 수생식물이 생육할 수 없다. 수변부에서 얇은 곳까지 수생식물 군락의 면적이 넓어져 가고 있는 실정이다. 특히, 하구둑으로부터 상부 13km 지점의 낙동강횡단수관교 아래에 형성된 둔치에서는 환경부, 산림부 등에서 멸종위기 식물로 보호하는 가시연꽃의 대형 군락이 2003년 이후부터 관찰되었다. 이러한 분포는 하구둑 건설로 물의 염분농도가 거의 담수화되고 퇴적물 유입으로 수변부의 가장자리가 수심이 얕아지고 수체가 정체되어 있어 담수성 수생식물 종이 정착한 것으로 판단된다.

낙동강 하구에 분포하는 수생관속식물은 4과 4종이었다. 낙동강 하구는 기수역으로 담수성 수생식물은 서식할 수 없는 서식처이다. 담수와 기수 모두에서 분포하는 세모고랭이와 갈대 그리고 줄말이 관찰되었으며, 기수역 수생식물인 애기거머리말의 소군락이 관찰되었다. 수생식물은 대부분 담수성이므로 염분 기용기가 있는 하구에 서식할 수 있는 수생식물은 극히 제한적이다. 과거 1985년과 현재의 종다양성은 크게 차이가 나지 않았다. 1985년에 관찰되었던 거머리말 군락과 새우말은 더 이상 하구에서 관찰되지 않았다.

낙동강 하구의 물리적 변화는 낙동강 하구에 분포하는 중요 먹이식물인 거머리말과 애기거머리말 및 세모고랭이의 군락을 크게 변화시켰다. 거머리말은 1985년까지 견마도를 중심으로 늘차만, 진해 용원과 가덕도에 이르는 갯벌 약 13.62km²(정과 최 1985)에 분포하였다. 애기거머리말은 녹산 수문하부의 하안과 신흠리 동남단을 중심으로 진우도에 이르는 신흠갯벌에 주로 분포하였으며, 장자도, 백합등 그리고 명지 갯벌의 작은 갯골을 따라 점상 분포하였으나 본 조사에서는 을숙도와 명지 그리고 백합등에서 소개체만이 관찰되었다. 거머리말 군락은 이 지역의 지속적인 개발 정책에 따른 서식처와 수중환경의 변화로 거의 소실되었다(Fig. 3). Bay(1984)와 Duarte(1991)의 연구에 의하면 거머리말류를 통칭하는 잘피는 빛의 투과정도가 서식에 크게 영향을 미치는 주요 요인으로 작용하여 탁도에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 낙동강 하구에서 거머리말류의 소실은 서식처가 매립되거나 각종 공사 중에 발생한 부유물

질에 의한 탁류 발생으로 인한 빛 투과도 감소가 그 원인으로 사료된다. 거머리말은 물새의 겨울식량으로 이용되며, 성체는 생체로 거머리말을 먹으며, 이 군락내에 있는 어류의 현존량과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다(Adams 1976). 낙동강 하구에서도 거머리말은 수금류의 월동 시기에 주요 먹이원으로 이용되는 것이 관찰되었다. 1985년 가덕도 앞바다에 1,300ha의 면적과 연간 순생산량이 20톤으로(정과 최 1985) 평가되었던 거머리말 서식처는 거의 소실되어 수금류의 식이물이 크게 줄어들었다. 이러한 결과는 낙동강 하구 생태계 보전에 큰 영향을 주는 요인으로 작용할 것이며 겨울철새의 풍부도를 감소시키는 요인이 되었다.

낙동강 하구 세모고랭이 군락 중 명지 갯벌은 초고와 생산성이 높았던 지역이었으나 명지 주거단지 건립에 의한 매립으로 갯벌 면적의 약 50%가 감소하였다. 명지 갯벌의 세모고랭이 분포면적은 1985년 100ha에서 1992년 140ha로 확장되었다(하 1993)고 보고되었으나, 2004년의 본 조사에서는 약 50ha로 크게 줄어들었다. 매립에 의한 서식처 파괴가 이루어진 반면에 낙동강 본류로부터 유입되는 퇴적물과 낙동강 하구의 수로 준설에 따른 토사의 부유와 조수의 영향으로 신자도와 나무싯등의 면적이 증가하고, 나무싯등의 허부에 새로운 등(도요등)이 형성되어 갯벌면적이 증가하였으며, 이로 인해 세모고랭이의 서식처가 증가하였다. 대마등과 장자도 사이의 간석지에는 1985년까지 세모고랭이가 분포하지 않았으나, 현재 세모고랭이 군락이 확장되어가고 있으며, 모래가 쌓이면서 형성된 나무싯등 허부의 갯벌에서도 군락이 정착되기 시작하였고, 기존의 장자도와 신자도 사이와 장자도 서쪽의 갯벌에서도 확장이 확인되는 등 하구 전체의 세모고랭이 군락면적은 1985년 약 190ha에서 본 조사에서는 약 250ha로 확장되었으며 장차 분포면적은 더 증가되어갈 것으로 생각된다.

세모고랭이의 계절별 성장

낙동강 하구 내의 을숙도 남단 갯벌과 명지갯벌에 분포하는 세모고랭이의 계절별 성장은 4월부터 9월까지 이루어졌다. 4월 초까지 괴경의 새싹(turion)은 지상부로 성장하지는 않았다. 4월 중순에 괴경으로부터 어린 식물체(shoot)가 지상부로 성장하기 시작하였다. 일반적으로 *Scirpus* 속 식물은 4월부터 9월에 성장한다. 그러나 포르투갈의 Mondego 하구에서는 지중해성 기후로, 여름에는 고온건조하고 겨울에 따뜻하며 비가 온다. 그 결과 1월부터 성장하여 4-5월에 성장을 마무리하는 것으로 보고하고 있다(Lillebø *et al.* 2003).

세모고랭이의 밀도 변화는 4월말 단위면적당 10~30개의 개체를 시작으로 7월말 120~250개체, 9월말에는 250~300개체로 성장하였다(Fig. 4와 Table 4). 을숙도 갯벌은 명지 갯벌보다 높은 계절별 밀도 변화를 보였다. 명지 갯벌의 세모고랭이는 7월에서 9월 사이 급격한 밀도 변화를 보이며, 을숙도 갯벌은 4월 이후 7월에 높은 밀도 변화가 나타났다. 이러한 차이는 명지 갯벌 내 세모고랭이의 성장이 을숙도보다 늦게 시작되었기 때문으로 판단된다.

1985

2004

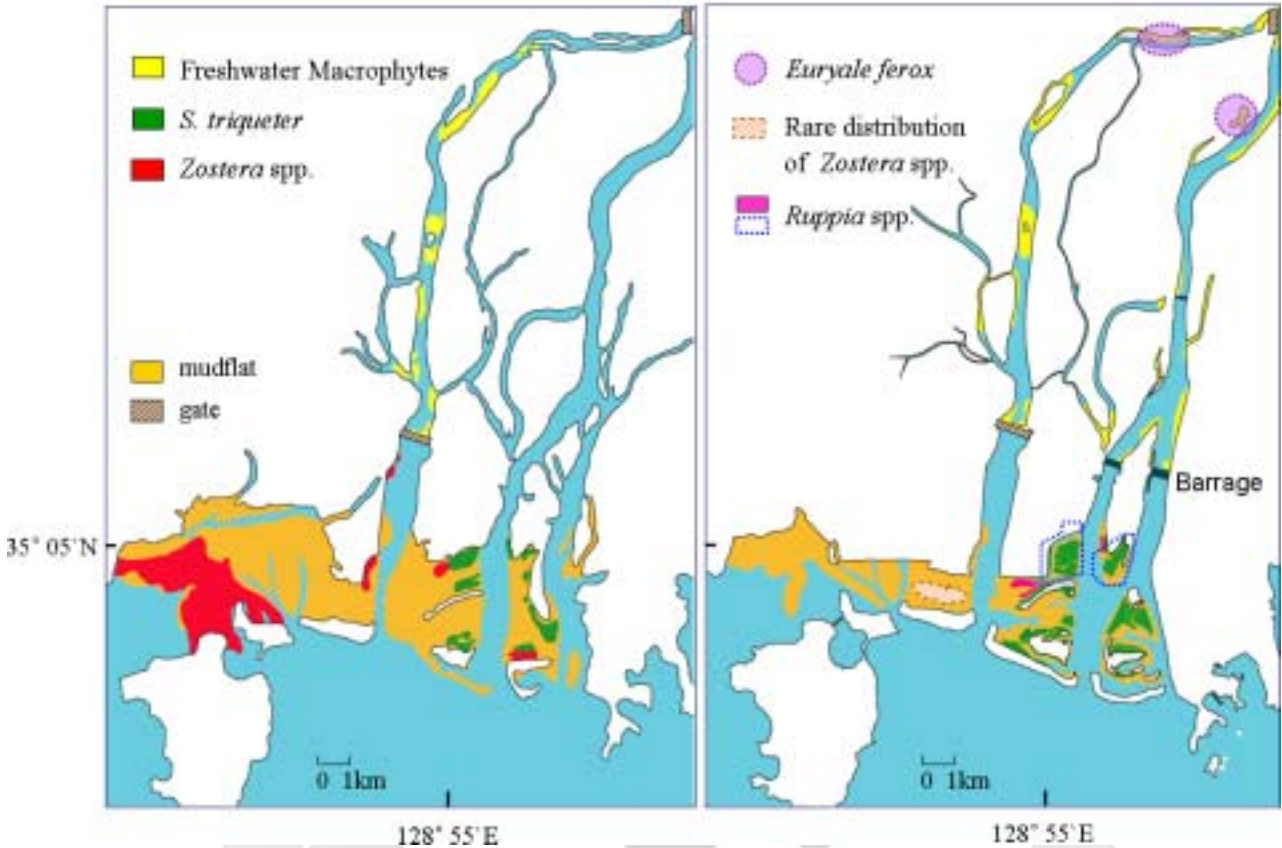


Fig. 3. Change of distribution of food plant on the Nakdong River Estuary.

두 갯벌에서 세모고랭이 지상부의 최고 성장시기인 9월말의 초고는 을숙도 80cm, 명지 40cm로 유의수준 1%내에서 유의한 차이를 보였다(Fig. 4). 을숙도의 경우 7월에 거의 대부분 성장하여 평균 70cm이었으며, 9월에는 80cm로 성장율이 둔화되었다. 그러나 명지의 경우 7월 30cm, 9월 40cm로 7월에서 9월 사이에도 성장이 지속되었으며, 이러한 차이는 명지갯벌의 세모고랭이의 성장이 을숙도보다 이후에 시작되었기 때문으로 명지갯벌의 세모고랭이는 성장이 늦게까지 지속된 것으로 판단된다.

계절에 따른 생체량 변화는 4월에 지하부에 저장된 괴경으로부터 shoot를 만들기 시작하여 수온이 20℃ 이상으로 상승하는 여름철에 지상부가 식물체 총생체량의 대부분을 차지하였고, 9월에는 고니류의 먹이가 되는 괴경이 전체 생체량의 44~57%를 차지하였다(Fig. 5). 을숙도와 명지에서의 세모고랭이를 비교해보면, 밀도가 낮고 초고가 짧은 명지에서 생체량이 낮았다. 지상부의 성장이 먼저 이루어진 을숙도의 경우 개화가 약 이주일 정도 빠르게 일어났다.

세모고랭이 괴경은 식물이 성장을 완료하고 개화 후 시들기 시작하면서 왕성하게 형성되는 것이 관찰되었다. 두 지점에서 세모고랭이의 초고 차이는 크지만 지하부의 괴경 생체량 차이

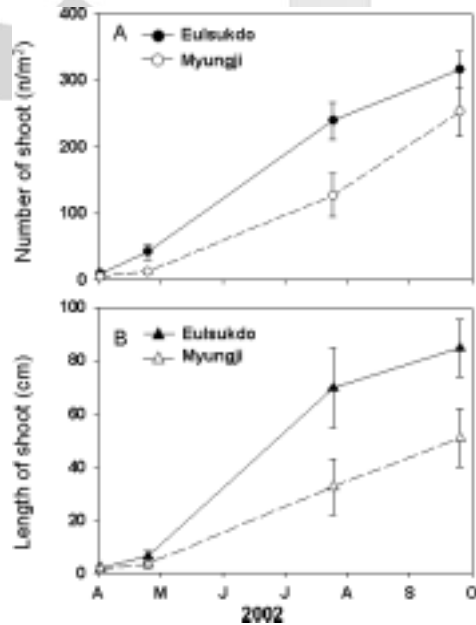


Fig. 4. Seasonal changes of density and shoot length of *S. triqueter* in the Nakdong River Estuary(-●-, -▲- Eulsukdo; -○-, -△- Myungji).

Table 4. Seasonal changes of biomass of *S. triquetra* in each site(2002, n=3~5)

Biomass (g.dw/m ²)	Flower		Stem		Root		Rhizome		Tuber	
	E	M	E	M	E	M	E	M	E	M
5 April	-	-	-	-	-	-	-	-	5± 4	7± 5
26 July	6±2	-	139± 3	78± 6	13± 1	5±1	12±1	5±1	30±11	7± 3
25 September	18±0.4	7±1	248±13	195±19	44±10	22±3	46±4	22±2	163±13	121± 5
20 October	-	-	-	-	-	-	-	-	168±10	184±35

* E, Eulsukdo; M, Myungji.

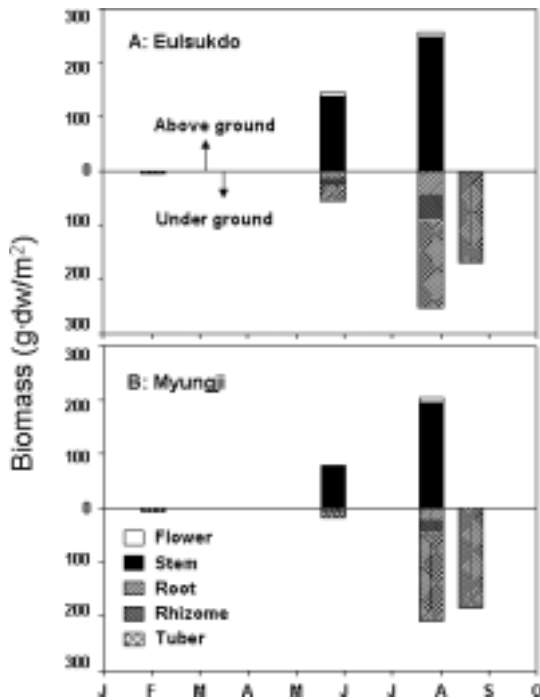


Fig. 5. Seasonal changes of biomass of *S. triquetra* in the Nakdong River Estuary(A, Eulsukdo; B, Myungji ; n=3~5, 2002).

는 유의하지 않았다. 이러한 결과는 식물체의 길이 성장과 괴경 형성 정도와는 상관성이 낮음을 의미한다.

조사지역인 을숙도와 명지의 토양 평균 pH는 각각 6.9와 7.3으로 중성에 가까웠다. 유기물 함량은 을숙도 지점에서 2.8%, 명지 1.5%로 두 지점간에 유의수준 1%에서 유의하게 나타났다. 전기전도도는 2,438(μS/cm)부터 2,076(μS/cm)으로 측정되어 지역간의 차이는 없었다(Table 5).

Table 5. Sediment properties of Eulsukdo and Myungji (n=4)

	Organic matter (%)	pH	Conductivity (μS/cm)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Soil texture
Eulsukdo	2.8±0.1	6.9±0.1	2,438±1,236	46	30	24	Loam
Myungji	1.5±0.2	7.3±0.1	2,076± 399	87	13	0	Loamy Sand

저토의 토성(soil texture)은 명지에서 모래함량이 87%, 을숙도에서 46%로 명지 토양은 모래함량의 비율이 높게 나타나 두 지점간에 현저한 차이를 보였다(P<0.01). 삼각분류법에 의한 분석 결과 명지의 토양은 양질사토, 을숙도 토양은 식양토로 분류되었다(Table 5). 토양의 토성은 식물체의 성장에 중요한 요인 중의 하나이다. 실트와 점토가 많이 함유된 양질의 토양은 배수력이 떨어져서 수분과 영양분을 머금고 있어 식물에게 좋은 영양분을 제공하는 것으로 알려져 있다. 낙동강 하구 갯벌의 세모고랭이의 경우 영양분이 풍부한 바다물과 민물이 섞여 조수에 의해 세모고랭이가 침수를 반복하면서 충분한 수분 공급과 영양분 공급이 이루어지는 것으로 판단된다.

낙동강 하구의 각 사주별 세모고랭이의 성장

낙동강 하구 각 갯벌에 분포하는 세모고랭이의 최종 초고는 30~60cm 범위로 신자도 30cm로 가장 작았으며 유의수준 1%이내에서 사주별로 길이 성장의 차이를 나타내었다(Fig. 6과 Table 6). Karagatzides(1991)의 보고에 의하면 미국의 Fraser River Delta에서 세모고랭이와 유사종인 *S. americanus*는 40~60cm, 좁매자기는 45~70cm의 길이 성장으로 세모고랭이와 유사하였다. 세모고랭이의 밀도는 단위면적당 250~350개체이었다. 신자도와 장자도 지점에서 낮은 밀도를 나타냈으며, 대마등 지점의 밀도가 높게 나타났다.

세모고랭이의 생체량(biomass)은 백합등과 맵금머리 지점에서 가장 높은 생산량을 보였다(Fig. 7). 세모고랭이의 길이 성장이 불량한 신자도에서 전체 생체량은 낮게 나타났으나 생식기관(꽃과 종자)의 생체량은 전체 사주에서 유의한 차이를 보이지 않았다.

낙동강 하구에 월동하는 수금류의 주요 먹이원인 세모고랭이 괴경(tuber)의 생체량은 전체 생체량의 44~57%를 차지하였다.

Table 6. Comparison of the density, shoot length and biomass of *S. triqueter* in each site (2003, n=3)

	Sites (mean ± SD)					Statistics (ANOVA)		
	Daema-deung	Sinjado	Jangjado	Baeghapdeung	Mangummery	F	P	
Density (n/m ²)	346 ± 21 ^a	247 ± 44 ^c	266 ± 13 ^{bc}	320 ± 17 ^{ab}	314 ± 39 ^{ab}	5.780	0.011	
Length of shoot (cm)	56 ± 4.4 ^a	32 ± 4.2 ^b	62 ± 5.6 ^c	60 ± 5.8 ^{ac}	59 ± 3.1 ^{ac}	102.433	<0.001	
Biomass (g.dw/m ²)	Flower	11 ± 4.5 ^{ab}	7 ± 2.2 ^{ab}	6 ± 1.3 ^{ab}	7 ± 2.3 ^{ab}	12 ± 3 ^b	2.636	NS
	Stem	140 ± 8 ^c	42 ± 12 ^a	98 ± 8 ^b	190 ± 17 ^d	172 ± 13 ^d	76.372	<0.001
	Root	17 ± 34 ^{ab}	12 ± 3 ^a	16 ± 7 ^{ab}	29 ± 8 ^c	26 ± 5 ^{bc}	4.760	0.021
	Rhizome	27 ± 88 ^b	9 ± 4 ^a	11 ± 4 ^a	18 ± 4 ^{ab}	18 ± 5 ^{ab}	3.609	0.045
	Tuber	146 ± 14 ^c	72 ± 7 ^a	118 ± 8 ^b	199 ± 11 ^d	208 ± 18 ^d	66.564	<0.001

* SD, standard deviation; NS, not significant (p>0.05).

* Homogeneous of variance, Duncan multiple range tests.

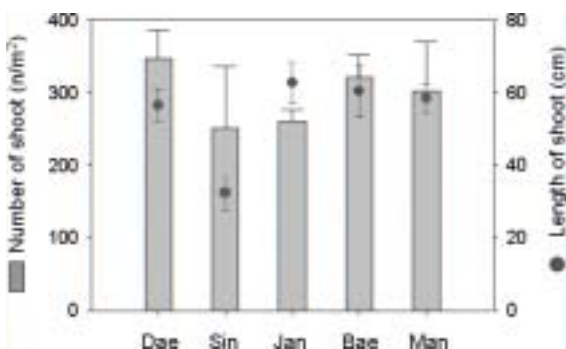


Fig. 6. Density and shoot length of *S. triqueter* in the Nakdong River Estuary(Bae, Baeghapdeung; Sin, Sinjado; Jan, Jangjado; Dae, Daemaddeung; Man, Mangummery; n=3, 2003).

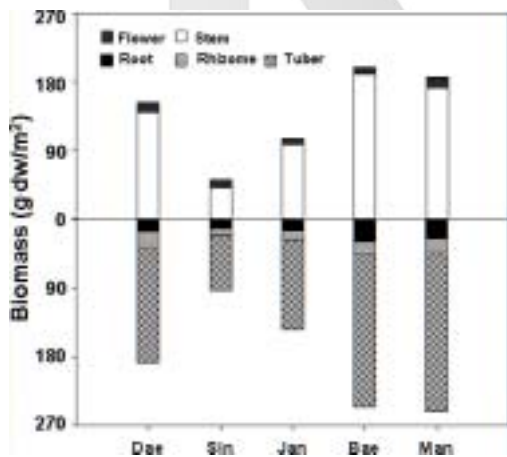


Fig. 7. Biomass of *S. triqueter* in the Nakdong River Estuary(Bae, Baeghapdeung; Sin, Sinjado; Jan, Jangjado; Dae, Daemaddeung; Man, Mangummery; n=3, 2003).

좁매자기의 경우도 전체의 40~60%가 괴경으로 구성되어 세모고랭이와 비슷한 비율을 차지하고, 땅속줄기와 뿌리의 분배율은

낮았다. 그러나 *S. americanus*의 경우는 뿌리와 땅속줄기가 발달하고 괴경의 형성은 극히 드물며 땅속줄기의 경우 전체 식물체의 30%를 차지하는 식물이다(Karagatzides and Hutchinson 1991). 낙동강 하구 세모고랭이의 괴경의 분포는 93%가 5~40cm에서 관찰되었고, 40cm 이하에서는 6~7%만이 발견되었다. 윤(1992)에 의하면 낙동강 하구 세모고랭이 괴경이 토양 표면으로부터 40cm 이내에 분포하고 있다고 보고하였는데, 본 조사의 결과도 이와 유사한 것으로 나타났다. 최 등(2000)의 연구 결과 새섬매자기(*S. planiculmis*) 괴경의 분포 깊이는 0~5cm에서 약 77%, 5~10cm 21% 그리고 10~15cm 2%가 분포한다고 보고하였다. 또한 이 등(1991)에 의하면 새섬매자기(*S. planiculmis*) 괴경 형성이 각각 토양으로부터 6cm이내에 괴경의 92%, 8cm이내에 82%의 분포를 보고하였다. 이러한 내용을 정리해 보면, 세모고랭이의 괴경 분포는 다른 *Scirpus* 종보다 상당히 깊음을 알 수 있다. 낙동강 하구에 분포하는 세모고랭이 괴경의 형성이 토양의 깊은 곳에 분포하는 것은 이 지역에서 오랫동안 수금류의 섭식이 이루어지면서 섭식에 의한 포식압을 극복하고 다음 세대에 더 많은 번식을 하기 위한 생존전략으로 판단되며 다양한 실험적 접근을 통해 심도있게 연구해 볼 가치가 있는 것으로 사료된다.

낙동강 하구에서 고니의 서식처는 세모고랭이 분포지와 일치하는 것으로 관찰되었다. 또한 낙동강 하구에서 겨울을 나기 위해 도래하는 많은 철새들이 가장 먼저 찾아오는 곳도 세모고랭이가 분포하는 갯벌로 관찰되었다(이찬우, 주기재 미발표 자료). 겨울철새들이 도착 후 10일 만에 세모고랭이 괴경 생체량의 약 60%가 급격히 감소하였고, 12월 중순에는 약 10% 미만의 괴경만 남아 고니를 비롯한 오리류의 개체수가 급격히 감소하는 것이 관찰되었다(Kim et al. 2004). 그러나 일본 Nakaumi 지역의 경우 고니류는 주변의 풍부한 먹이식물과 넓은 농작지의 낙곡으로 겨울동안 개체수의 변화가 거의 없이 겨울을 나고 봄에 이동을(Lee et al. 2004)하므로, 낙동강 하구에 도래하는 고니는 겨울동안 먹이원의 부족으로 이동시기보다 빨리 떠나는 것으로

판단된다. 따라서 고니류가 낙동강 하구에서 충분한 섭식활동에 필요한 식이물의 공급과 생태계 유지를 위하여 향후 생태계 복원 사업시 세모고랭이 식재 등에 대한 실험적 접근이 요구된다.

적 요

지난 25년간 낙동강 하구의 물리적 변화에 따른 수생관속식물의 분포 변화와 수금류의 주요 먹이식물인 세모고랭이의 성장에 관하여 2002년 4월부터 2004년 8월까지 조사하였다. 낙동강 하구의 담수역인 서낙동강과 낙동강 본류 그리고 기수역에 생육하는 수생관속식물은 총 17과 32분류군으로 1985년의 소산종 16과 33종과 비교해 큰 변화는 없었다. 하구둑 건설 후 수체가 거의 정체되고 담수화된 낙동강 본류에서는 1985년 보고되었던 5종의 수생식물이 17종으로 크게 증가하였다. 특히 본류에 위치한 대저동 둔치의 못에서 보호식물인 가시연꽃 군락이 발견되었다. 2001년 여름에 서낙동강에서 번성하였던 부레옥잠과 물상추 군락은 더이상 관찰되지 않았으며, 이미 소실된 것으로 보고되었던 어리연꽃, 이삭물수세미, 줄말이 관찰되었다. 1983년 이후 낙동강 하구의 하안과 연안의 매립으로 습지 면적이 2,893ha 감소하였으며, 고니류의 먹이식물인 세모고랭이 군락의 감소와, 특히 용원 내만에 분포하였던 1,300ha에 이르는 수금류의 먹이식물인 거머리말 군락이 소실되어 하구 전체의 먹이 식물이 크게 감소하였다. 세모고랭이의 지상부는 4월부터 9월까지 성장하였으며, 전체 7개 조사지역 중 신자도, 명지 조사지소에서 세모고랭이의 초고가 30~40cm로 다른 지역(60~80cm) 보다 성장이 불량하였다. 괴경은 9월부터 형성되었으며, 비교적 깊은 25~40cm에 많이 분포하였고(55%), 총 현존량의 44~57%를 차지하였다. 하구의 수생관속식물 분포면적은 최근 25년간 총 2,893ha에 이르는 얇은 습지의 매립으로 인해 크게 변화하고 있으며 하구를 찾는 수금류의 분포, 환경수용력 등과 크게 상관성이 있어 앞으로 심도 있는 연구가 더욱 필요하다.

사 사

본 연구논문은 부산대학교 생물학과 담수생태연구실의 낙동강 생태계 연구 논문 No. 43호로 국가장기생태연구사업(2005년, 낙동강)의 지원으로 작성되었습니다.

인용문헌

이강수, 한규홍, 박석홍, 최선영. 1991. 간척지 우점잡초 새섬매자기(*Scirpus planiculmis* F. Schmidt)의 생육습성. 한잡초지 11: 111-121.
 이근섭, 이상용. 2001. 남해안 잘피 서식지 현황 및 복원 방안. 자연보존 116: 15-20.
 이창복. 2003. 대한식물도감. 향문사. 서울. 910 p.
 이창희, 이병국, 유혜진. 2001. 하구/석호 육해전이수역 통합환경관리방안연구. 한국환경정책·평가연구원. 284 p.

윤해순. 1987. 낙동강하구에서의 수금류 식이식물의 현존량과 이용에 관한 연구. 경희대학교 박사학위논문. 133 p.
 윤해순. 1991. 낙동강하구 간척지의 수생관속식물에 관한 연구, 하구둑 건설 전후의 간척지 식생의 생산성 비교. 한국생태학회지 14: 63-73.
 윤해순, 김구연, 김승환, 이원화, 이기철. 2002. 서낙동강 수질의 이화학적 특성과 수생관속식물의 분포. 한국생태학회지 25: 165-173.
 정영호, 최홍근. 1983. 낙동강하구의 습생식물 및 수중식물 구계와 분포. 한국식물학회지 26: 197-206.
 정영호, 최홍근. 1985. 낙동강수계의 수생관속식물상과 현존량. 한국환경생물학회지 3: 29-44.
 최성환, 손영길, 주경섭, 최주호, 김만호, 유용만, 이종주. 2000. 새섬매자기의 출아 및 생육특성. 한잡초지 20: 276-283.
 최홍근. 2000. 수생관속식물. 정행사. 220 p.
 하중호. 1993. 낙동강 하구둑 축조 후의 수생관속식물군집의 변화에 관한 연구. 동아대 교육대학원 석사학위논문. 37 p.
 Adams, S.M. 1976. The ecology of eelgrass, *Zostera marina* (L), fish communities. I. Structural analysis. J. Exp. Mar. Bio. Ecol. 22: 269-291.
 Amat, J.A. 1995. Effects of wintering Greylag Geese *Anser anser* on their food plants. Ecograp. 18: 155-163.
 Ansolá, G., C. Fernández and E. de Luis. 1995. Removal of organic matter and nutrients from urban wastewater by using an experimental emergent aquatic macrophyte system. Ecol. Eng. 5: 13-19.
 Bay, D. 1984. A field study of the growth dynamics and productivity of *Posidonia oceanica* in Calvi Bay, Corsica, France. Aqua. Bot. 20: 43-64.
 Brower, J.E., J.H. Zar and C.N. von Ende. 1997. Field and Laboratory Methods for General Ecology. McGraw-Hill (Publishers) Ltd., Boston. 273 p.
 Cameron, W.M. and D.W. Pritchard. 1963. Estuaries. In M.N. Hill (Ed.), The Sea. Wiley, New York, Vol. 2, pp. 306-324.
 Christian, R.P., H.F. Lauchlan and S. David. 2005. The interacting effects of temperature and plant community type on nutrient removal in wetland microcosm. Bioresource Technol. 96: 1039-1047.
 Clevering, O.A and W.M.G. van Gulik. 1997. Restoration of *Scirpus lacustris* and *Scirpus maritimus* stands in a former tidal area. Aqua. Bot. 55: 229-246.
 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. Aqua. Bot. 48: 273-284.
 Coops, H. and G. van der Velde. 1996. Effects of waves on helophyte stands: mechanical characteristics of stems of *Phragmites australis* and *Scirpus lacustris*. Aqua. Bot. 53: 175-185.
 Coops, H., W.B. Fred, van den Brink and G. van der Velde. 1996. Growth and morphological responses of four helophyte species in an experimental water-depth gradient. Aqua. Bot. 54: 11-24.
 Costanza, R., d'Arge R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. and van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature. 387: 253-260.
 Davidson, N.C. 1991. Human activities and wildlife conservation on es-

- tuaries of different sizes: a comment. *Aqua. Conserv.: Marine and Freshwater Ecosystems* 1: 89-92.
- Day, J.W., A.S. Hall, W.M. Kemp and A. Yanez-Arancibia. 1989. *Estuarine Ecology*. Wiley, New York, NY. 558 p.
- 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. *Biol. Conserv.* 38: 115-142.
- Duarte, C.M. 1991. Seagrass depth limits. *Aqua. Bot.* 40: 363-377.
- 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. *Aqua. Bot.* 55: 261-279.
- Gray, J.S. 1997. Marine biodiversity: patterns, threats and conservation needs. *Biodivers. Conserv.* 6: 153-175.
- Giroux, J.F. and J. Bédard. 1987. Factors influencing aboveground production of *Scirpus marshes* in the St. Lawrence estuary, Québec, Canada. *Aqua. Bot.* 29: 195-204.
- Hootsmans, M.J.M. and F. Wiegman. 1998. Four helophyte species growing under salt stress: their salt of life?. *Aqua. Bot.* 62: 81-94.
- Karagatzides, J.D. and I. Hutchinson. 1991. Intraspecific comparisons of biomass dynamics in *Scirpus americanus* and *Scirpus maritimus* on the Fraser River Delta. *J. Ecol.* 79: 459-476.
- Kadono, Y. 2004. *Aquatic Plants of Japan*. Bun-ichi Sogo Shuppan, Co., Ltd. Tokyo. 179 p.
- Kim, G.Y., C.W. Lee and G.J. Joo. 2004. Growth pattern of *Scirpus triqueter* after wintering swans foraging activity. Proceedings of the 7th INTECOL International Wetlands Conference. Netherlands. pp. 160.
- Lee, C.W., K. Kamiya and G.J. Joo. 2004. Comparative study wintering Swan habitat use pattern in two wetlands: Nakdong Rive Estuary, S. Korea and Lake Nakaumi Area, Japan. Proceedings of the 7th INTECOL International Wetlands Conference. Netherlands. pp. 177.
- Lentz, K.A. and W.A. Dunson. 1998. Water level affects growth of endangered northeastern bulrush, *Scirpus ancistrochaetus* Schuyler. *Aqua. Bot.* 60: 213-219.
- Lewis, M.A. and D.E. Weber. 2002. Effects of Substrate Salinity on Early Seedling Survival and Growth of *Scirpus robustus* Pursh and *Spartina alterniflora* Loisel. *Ecotoxicol.* 11: 19-26.
- Lillebø, A.I., M.A. Pardal, J.M. Neto and J.C. Marques. 2003. Salinity as major factor affecting *Scirpus maritimus* annual dynamics evidence from field data and greenhouse experiment. *Aqua. Bot.* 77: 111-120.
- McLusky, D.S. 1999. Estuarine benthic ecology: a European perspective. *Aust. J. Ecol.* 24: 302-311.
- Pritchard, D. 1967. Observation of circulation in costal plain estuary. In: George Lauff(ed.), *Estuaries*. American Association for the Advancement of Science, (Publishers) Ltd., 83, Washington, D.C., pp. 37-44.
- Pethick, J. 2002. Estuarine and tidal wetland restoration in the United Kingdom: Policy Versus Practice. *Restor. Ecol.* 10: 431-437.
- Sculthorpe, C.D. 1967. *The Biology of Aquatic Vascular Plants*. Edward Arnold (Publishers) Ltd., London. 610 p.
- Short, F.T. and S. Wyllie-Echeverria. 1996. Natural and human-induced disturbances of seagrass. *Environ. Conserv.* 23: 17-27.
- Smith, R.L. and T.M. Smith. 2002. *Elements of Ecology*(5th), Benjamin-Cummings (Publishers) Ltd., San Francisco. 682 p.
- Suchanek, T.H. 1994. Temperate coastal marine communities: biodiversity and threats. *Am. Zool.* 34: 100-114.

(2005년 9월 4일 접수; 2005년 10월 27일 채택)