

낙동강 하구 갯벌에 생육하는  
세모고랭이(*Schoenoplectus triqueter*)의 생체량  
및 탄소, 질소 함량의 계절 변화

Seasonal biomass and carbon, nitrogen contents change of  
*Schoenoplectus triqueter* in Nakdong river estuary

안 순 모\*<sup>+</sup> / 이 지 영\* / 정 신 재\*

Soonmo An\*\* / Jiyoung Lee\* / Sinjae Jeong\*

:: Abstract ::

Seasonal biomass and carbon, nitrogen contents change of marsh club-rush (*Schoenoplectus triqueter*) was investigated in Nakdong river estuary, located near Busan, Korea. New shoot of *S. triqueter* sprouted from tuber in April and fast growth season was followed until mature in August. Mature lengths of shoot and root were 60 and 9.4 cm, respectively. The increase of biomass showed similar seasonal trends with length. Mature biomass were 3.5 g ind<sup>-1</sup> in wet weight and 0.6 g ind<sup>-1</sup> in dry weight. The biomass of *S. triqueter* in areal basis was also highest during July and August (186 g DW m<sup>-2</sup>). The shoot of *S. triqueter* was disappeared in October from the ground but the biomass of shoot was maintained as a form of detritus in sediment. The amount of *S. triqueter* detritus was about 30~50% of the biomass in August. During winter, the amount of detritus decreased with time but the biomass of root+tuber remained same, implying the root+tuber part is alive. The net productivity of *S. triqueter* estimated from biomass change were 538 g DW m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>, 240 g-C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>, 8.2 g-N m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup> in dry weight, carbon and nitrogen equivalent respectively. During winter, carbon to nitrogen ratio in detritus increased implying the preferred remineralization of nitrogen during microbial degradation.

**Keywords:** 세모고랭이(*Schoenoplectus triqueter*), 낙동강 하구(Nakdong estuary), 질소함량 (nitrogen contents), 영양염 저장(nutrient storage), 부영양화(eutrophication)

+ To whom corresponds should be addressed. sman@pusan.ac.kr

\* 부산대학교 해양과학과

Department of Marine Science, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

## 1. 서론

주요 연안 환경의 하나인 하구(estuary)는 육상기원 물질이 해양으로 유입되는 통로이다. 그러나 이 지역은 단순히 “통로” 이상의 역할을 하고 있으며 자체로서 풍부한 생태계를 이루고 있다(안 2005, Teal 1962). 연안 하구로 유입된 무기물이나 유기물들은 생물, 지질, 화학적인 과정을 거쳐서, 그 양이 증가하거나 감소하고, 다른 형태로 바뀌는 소위 생지화학적 순환(biogeochemical cycling)을 거치게 된다(Howe et al. 1984). 연안하구를 하나의 시스템으로 가정했을 때, 이곳에서 일어나는 생지화학적 과정은 육상기원 물질이 연안하구를 거쳐 해양으로 유입되는 양과 종류를 결정하게 되며, 결국 해양의 생산성에 영향을 끼치게 된다(Howarth et al. 1988).

낙동강 하구는 삼각주와 사주가 잘 발달된 지역으로서, 사주에 의해 외해와의 해수 교환이 어느 정도 차단되어 사주 내부에 넓은 갯벌이 형성되어 있으며, 염분이 비교적 낮아, 갈대나 세모고랭이 등의 해안성 식물이 넓게 분포하고 있다(김 등 1986, 1989, 윤 1991, 김 등 2005). 따라서 낙동강 하구는 일반적인 식물성 플랑크톤을 기초로 한 해양 생태계와는 달리 대형일차생산자에 의한 일차생산성이 매우 높으며, 퇴적물 위에 서식하는 저서규조류(MPB: micro phyto benthos)의 생산성도 높은 편이나 식물성 플랑크톤의 생산성은 작을 것으로 예상된다(Teal 1962, Odum and Heald 1975).

낙동강 하구 생태계의 대형일차 생산자는 태양 에너지를 고정하여 자생적인(autochthonous) 유기물을 생산하는 역할을 담당하고 이렇게 생산된 유기물은 초식자에게 직접 전달되기 보다는 부식자 기반 먹이망(detritus based food web)으로 유입될 가능성이 크다(Odum and Heald 1975). Kang et al.(in print)의 연구 결과에서도 낙동강 갯벌 세모고랭이 군락지에 서식하는 저서동물의 탄소 및 질소 안정동위원소는 세모고랭이 보

다는 저서규조류와 유사하였다. 대형일차생산자가 생산한 유기물이 직접적인 초식에 의해 먹이망으로 유입되는 양은 적다할 지라도 결국 이러한 유기물은 부식자기반 먹이망을 통해 간접적으로 생태계에 공급될 것이고 특히 세모고랭이는 철새들의 중요한 먹이원이 되고 있다(김 등 2005).

생태계가 이용할 수 있는 유기물을 공급하는 역할과 더불어 낙동강 하구의 대형일차 생산자의 역할 중의 하나는 영양염 저장 기능이다(김 등 1989). 육상에서 유입된 질소나 인과 같은 영양분은 연안의 부영양화를 일으키는 원인물질이다. 특히 질소성분은 해양의 일차생산을 좌우하는 영양분으로서 적당한 양이 해양으로 유입되면 생산성을 높이는 결과를 가져올 수 있으나 과다한 양이 유입될 경우 적조와 같은 부영양화를 일으킬 수 있다(Ryther and Dunston 1971). 낙동강 하구와 같은 연안하구에서 유기물 및 질소 영양염의 저장 및 저감 기능에 관한 정량적인 연구는 하구의 자연정화 능력을 평가하는 중요한 기준이 될 것이다(Capone 1988, Howarth et al. 1988, Seitzinger 1990). 그러나 단순히 대형일차생산자 흡수 능력을 하구 갯벌의 영양염 제거나 자연정화능력으로 평가하는 것은 어렵다(안 2005). 성장 기간 동안 흡수된 영양염은 주변 환경에서 그 양을 감소시키는 역할을 할 수 있으나 완전히 제거된 것은 아니며, 대형일차생산자의 생체가 유기쇄설물로 변하고 이를 미생물이 분해할 때 다시 환경에 유출될 것이다. 이 경우 대형일차생산자의 흡수를 “제거”라고 보기는 힘들며, 결국 이러한 흡수가 생태학적으로 어떤 의미를 갖는 가는 영양분의 저장과 변환, 그 시스템으로부터의 제거 등 종합적인 물질순환의 측면에서 판단하는 것이 필요하다(안 2005).

2004년 이후로 낙동강 하구의 각 생태요소(주요 생산자(갈대, 세모고랭이, 갈피, 저서미세조류), 소비자(저서동물, 어류, 철새)와 미생물에 의한 분해, 물질순환) 등에 관한 자세한 연구가 수행중이다(환경부 2005, 2006). 이 연구의 일

환으로서 낙동강 하구의 주요 일차생산자인 세모고랭이의 성장특성과 생체량 변화를 살펴보았다. 낙동강 하구 세모고랭이는 10월 이후 지상부가 사라지고, 잎 부분은 퇴적물에 묻혀 유기쇄설물로 존재하는데, 유기쇄설물의 생체량 변화도 함께 살펴봄으로써, 미생물에 의한 분해활동 및 세모고랭이에 저장되었던 영양염의 방출량을 추정하였으며, 생체량 측정에서 건조량과 함께 강열감량, 탄소 및 질소함량을 조사하여, 에너지 및 영양염 축적과 방출량을 정량화하려 하였다.

## 2. 조사방법

### 2.1 조사지역 및 현장조사

조사지역은 낙동강 하구, 명지주거단지 앞에 위치한 세모고랭이 군락이다(Fig. 1). 이 지역은 을숙도 지역과 함께 낙동강 하구에서 세모고랭이가 대규모로 생육하는 지역으로서 을숙도 보다는 약간 낮으나, 여름철에는 평방미터당 200개체에 이르는 높은 밀도가 보고되었다(김 등 2005). 명지지역 인근에는 수로가 발달해 있어 수로 부근으로 경사가 급한 갯벌이 발달해 있으며, 비교적 짧은 거리에서 다양한 조고(tidal height)를 가진 지형을 이용하여, 2005년 4월부터 실험용 갯벌이 조성되어 연구가 진행되고 있다(환경부 2005, 2006). 명지지역의 세모고랭이 군락은 평균해수면 위 190 cm 정도에 위치하고 있으며, 평균입도 2.6~3.9  $\phi$  의 니사질 퇴적물로 이루어져 있다(환경부 2005).

현장 조사는 2005~6년에 걸쳐 총 7회가 실시되었는데, 2005년에는 4월, 7월, 8월, 10월, 11월, 2006년에는 3월, 4월에 이루어졌으며, 주로 대조시에 현장 조사가 실시되었다. 세모고랭이 군락이 대기 중에 노출 되었을 때 현장을 방문하여, 무작위로 30 cm x 30 cm 넓이의 방형구를 설치한 후 삽과 손 등을 이용하여, 방형구내의 세모고랭이의 지상부와 지하부(뿌리 및 괴경)를 채취하였다. 지하부 채취를 위해서는 방형구에 해당하는 퇴적물 내 60 cm 깊이까지 파내어, 손으

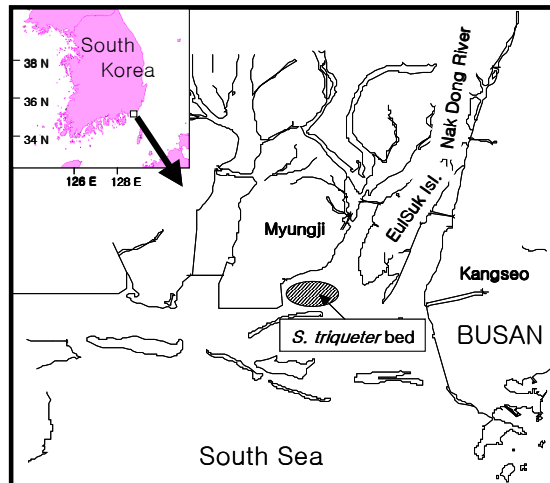


Figure 1. Study site (*S. triqueter* bed) in Nakdong river estuary

로 뿌리와 괴경 등을 골라내었다. 한 조사에서 반복 시료수는 2~3번 이었다. 세모고랭이 시료는 플라스틱 백에 보관하였으며, 채취 후 4시간 내에 실험실로 운반하여 측정이 이루어 졌다.

### 2.2 실험실 측정

실험실로 가져온 세모고랭이는 증류수로 세척하여 퇴적물과 이물질을 제거하였다. 수건을 이용하여 표면의 수분을 제거하고 상온에서 30분간 방치한 후 줄기, 뿌리, 괴경으로 구분하여 습중량을 측정하였다. 건조량 측정을 위하여, 세모고랭이의 각 부위는 60도 온도의 건조기에서 하루 동안 건조 되었다. 각 조사 시기 마다 살아있는 세모고랭이 개체와 죽어서 부패 과정에 있는(유기쇄설물) 세모고랭이를 구분 하였다. 생체내 유기물 측정에는 강열감량(IL: ignition loss)법과 원소분석기(EA; elemental analyzer; Elemental Analysen systeme, Vario EL)가 이용되었다. 강열감량은, 약 5 g의 건조 시료를 도가니에 넣고 550도로 맞추어진 전기로에서 2시간 동안 연소 시킨 후 연소 전후의 무게차를 본래 건조량의 무게비로서 나타내었다. 원소분석기 분석에서도 건조 시료가 이용되었으며 분쇄된 시료를 EA 분석기로 분석하였으며 C, N의 함량을 건조량에 대한 무게비로 나타내었다.

### 3. 결과 및 토론

#### 3.1 세모고랭이의 성장 특성

세모고랭이는 여러해살이풀로서 종자를 생산하나 종자에 의한 번식은 낮은 편이고 주로 괴경을 통해 번식한다(윤 1991, 김 등 2005). 세모고랭이의 계절변화를 살펴보면 겨울에 퇴적물에 묻혀있던 괴경들로부터 4~5월경에 싹이 올라온다. 어느 정도 성장하면 땅속줄기를 사방으로 뻗어 다시 새로운 싹이 땅위로 올라온다(김 등 2005). 8월경에는 개화가 시작되고 이때 괴경도 형성되는데, 본격적인 개화는 가을에 시작하여 식물체가 시들기 시작할 때 땅속에서는 괴경 형성이 활발해진다(김 등 2005). 10월경이 되면 세모고랭이의 지상부가 짧은 시간 내(1~2주)에 꺾여 외해로 유출되거나 퇴적물내에 묻히는데, 수금류가 날아와 괴경을 섭식하고 이때 세모고랭이의 지상부를 잘라내기 때문이다(김 등 2005). 수금류의 섭식을 피한 괴경은 겨울동안 땅속에 묻혀 있다가 이듬해 봄에 다시 싹이 나온다.

본 조사에서는 낙동강 하구 명지 지역에서 4월 싹이 올라온 이후 세모고랭이의 성장특성을 알아보기 위하여, 세모고랭이의 지상부와 지하부 길이 변화를 살펴보았다(Fig. 2(A)). 4월에 세모고랭이 줄기의 길이는 6 cm 내외였으나 7월이 되면 56 cm 까지 자라며, 8월에는 60 cm 에 이르게 된다. 4월에서 7월까지 빠른 성장을 보이

고 7월 이후 포화되어 성장률이 낮았다. 뿌리의 길이도 유사한 성장특성을 보여 4월의 평균 2.5 cm 에서 8월에는 9.4 cm 로 증가 하였다. 본 조사에서 8월의 지상부 길이는 김 등(2005)의 결과(30~60 cm)와 유사하였으나 윤(1991)의 결과(26~38 cm) 보다는 큰 편 이었다. 길이와 는 달리 지상부의 폭(가장 넓은 부분 측정)은 0.56 cm 로 7월에 최댓값을 보이고 8월에는 0.5 cm 로 더 이상 증가하지 않았다(Fig. 2(B)). 한 개체 당 순의 수(number of shoot) 도 4월에 2개에서 7월에는 3, 8월에는 2.7로서 7월에 최댓값을 보이고 더 이상 증가하지 않았다 (Fig. 2(B)).

계절에 따른 생체량의 변화도 길이 및 폭의 변화와 유사하여 4월 이후 7, 8월에 최댓값을 보였다(Fig 3). 개체 당 습증량은 2005년 4월에 0.1 g 에서 여름에 2~3.5 g 으로 증가 하였다(Fig. 3(A)). 2005년 8월에는 7월에 비해 감소하였는데, 이는 계절에 따른 수분함량의 차이로 생각되며, 건증량은 거의 차이를 보이지 않았다(Fig. 3(A), (B)). 2006년 4월에는 2005년 4월에 비해 습증량과 건증량에서 많은 차이를 보였는데, 2006년 4월에는 2005년 4월에 비하여 습증량은 약 16배, 건증량은 약 20배 가까이 높은 값을 보였다. 이러한 차이는 뿌리 부분의 괴경 증량의 차이에 의한 것으로 여겨진다(Fig. 3(C)). 2006년 4월에 괴경 건증량은 0.2 g 으로 2005년

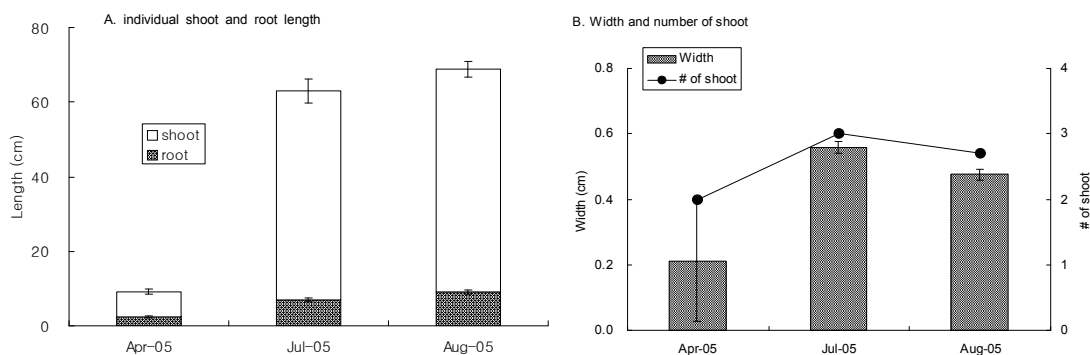
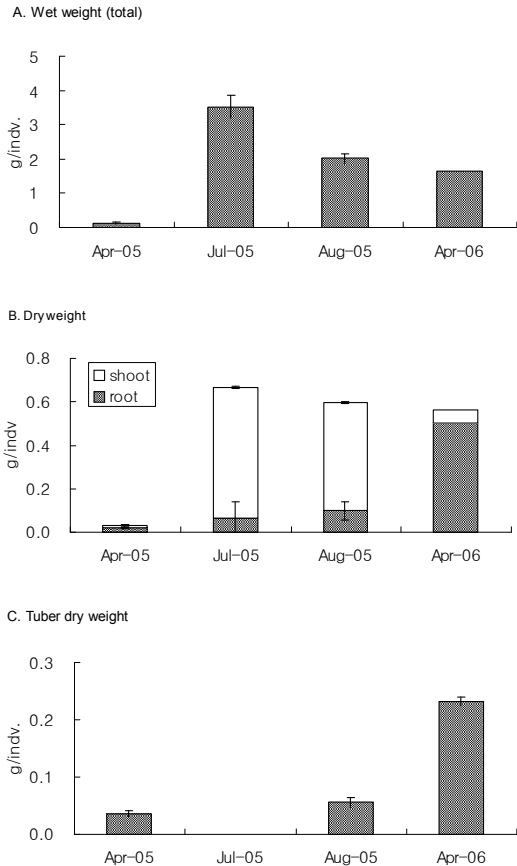


Figure 2. Seasonal variations of individual shoot and root length (A) and width and number of shoot (B) of *S. triqueter* in Nakdong estuary  
Error bar represents standard error among samples (n=15~25)



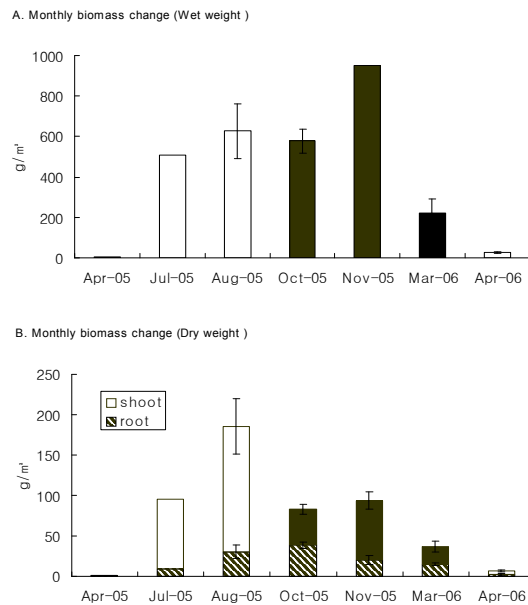
**Figure 3.** Seasonal variations of individual total wet weight (A), dry weight of shoot and root (B) and tuber dry weight of *S. triqueter* in Nakdong estuary  
Error bar represents standard error among samples (n=15~25)

4월의 0.04 g 에 비해 5배 이상이었는데 이러한 차이는 괴경으로부터 새싹(turion)이 나와 얼마큼 성장했는지에 따른 차이 때문이었다. 즉 2005년 4월에는 싹이 나온 후 상당기간 성장하여, 괴경이 작아 졌으며, 2006년 4월에는 새싹이 나온 후 얼마 지나지 않아 괴경 중량이 유지된 것으로 생각된다. 2005년 4월의 줄기부분의 평균 길이는 약 6 cm 정도였고 2006년도에는 약 1 cm 이었다(Fig. 2(A)). 윤(1991)의 조사에서도 3월 새싹이 나오기 전에는 괴경 중량이 전체중량의 55.8% 를 차지하였으나 싹이 튼 이후에는 지상부 중량이 51.8% 로 더 커졌음을 보

고하고 있다.

### 3.2 단위 면적 당 세모고랭이 생체 및 고사체 양 변화

단위 면적 당 세모고랭이의 생체량 변화에 영향을 끼치는 요인은 개체의 성장특성과 세모고랭이의 밀도 변화 등 일 것이다. 단위면적 당 생체량은 7~8월에 가장 높은 값을 보였는데, 개체의 성장특성과 유사하여 계절에 따른 밀도 변화 보다는 개체의 생장이 단위면적당 생체량을 결정하였다(Fig. 4). 생체량이 최대인 7~8월에 습중량은  $500\sim600\text{ g m}^{-2}$  에 이르렀다. 10월달에 철새에 활동에 의해서 세모고랭이가 꺾여, 서있는 상태의 지상부는 사라진 후에도 가을과 겨울동안 상당량의 세모고랭이 고사체가 유기쇄설물로서

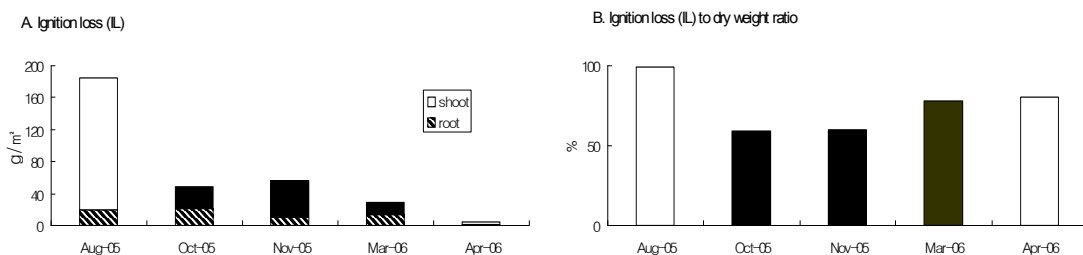


**Figure 4.** Seasonal variations of total wet weight (A) and dry weight of shoot and root (B) weight of *S. triqueter* in Nakdong estuary. The biomass in Oct-05, Nov-05 and Mar-06 are detritus biomass Note that the unit is weight (g) per unit area (square meter)  
Error bar represents standard error among samples (n=2~3)

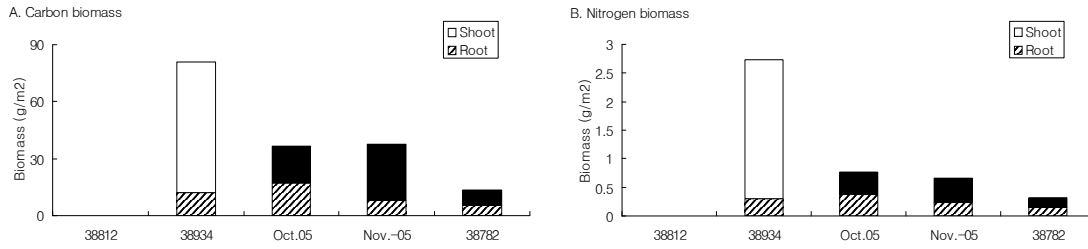
퇴적물 내에 존재하였다. 2005년 10, 11월에 습중량은 8월과 유사하거나 오히려 증가하는 경향을 보였다(Fig. 4(A)). 이는 지상부가 퇴적물에 묻힌 상태에서 수분 함량이 높아진데서 기인한 것으로서 건중량의 경우에는 2005년 10월에  $83 \text{ g m}^{-2}$ , 11월에  $94 \text{ g m}^{-2}$  으로서 8월의  $186 \text{ g m}^{-2}$  에 비하여 약 50%에 해당하는 양을 나타내었다. 2005년 10월에서 2006년 3월까지의 건중량 변화를 보면, 2005년 10월과 11월에는 거의 변화가 없다가 2006년 3월에  $37 \text{ g m}^{-2}$  으로 반 이상 감소하였다. 퇴적물에 묻힌 세모고랭이의 지상부는 미생물에 의한 분해, 저서동물에 속하는 초식자 및 잡식자에 의한 섭식 등에 의해 그 양이 감소할 수 있다(김 등 2005, Odum and Heald 1975). Kang et al.(submitted)이 탄소 및 질소 동위원소 분석을 통해 밝힌 바에 따르면, 저서동물이 직접 세모고랭이를 섭식하지는 않는 것 같으며, 이 지역에 서식하는 저서동물의 주요 먹이는 저서성 규조류(MPB: micro phyto benthos)였다. 따라서 퇴적물로 유입된 세모고랭이의 생체는 미생물에 의한 분해 과정에서 재광물화(remineralization) 되어 그 양이 감소할 것으로 여겨진다(Rowe et al. 1975, Howes et al. 1984). 재광물화 과정에서 생성된 무기 질소나 인 등의 영양성분은 저서성 규조류의 일차생산에 사용되어 간접적으로 저서생물의 먹이양을 증가시키는 역할을 담당하였을 것이다(안 2005, Pickeny et al. 1997). 2005년

11월에서 2006년 3월 사이에 지상부의 건중량은  $73 \text{ g m}^{-2}$  에서  $21 \text{ g m}^{-2}$  으로 70% 정도 감소한 것에 비하여, 뿌리와 괴경을 포함하는 지하부의 건중량은  $20 \text{ g m}^{-2}$  에서  $15 \text{ g m}^{-2}$  으로 28% 감소하는데 그쳐 괴경을 포함한 뿌리부분은 퇴적물에 묻혀있는 가을 겨울 동안에도 부패하지 않고 살아있음을 알 수 있었다(Fig. 4(B)).

건조 중량과 더불어 강열감량(IL: Ignition loss)과 원소분석에 의한 생체량을 Table 1 과 Fig. 5, 6에 나타내었다. 낙동강 명지지역 세모고랭이의 지상부와 지하부를 합한 전체의 강열감량은 연평균  $54.3 \text{ g m}^{-2}$  이었다(Table 1). 계절 변화가 심하였으나 전체 IL 중 약 95% 가 지상부에 존재하였으며 나머지 5% 는 지하부에 존재하였다. 2005년 8월에 IL은  $184.3 \text{ g m}^{-2}$  으로서 건중량과 거의 유사한 값을 보였으나, 2005년 10월과 11월에는 IL과 건중량의 차이가 건중량의 60~80%에 달해, 연소되지 않은 부분이 많았다. 한 가지 원인으로 생각해 볼 수 있는 것은 퇴적물에서 세모고랭이의 분리가 완벽하지 못했다는 것이다. 퇴적물 속에서 부패 상태에 있는 세모고랭이를 최대한 세척하여 건조한 후 건중량을 측정하였으나, 일부 퇴적물이 세모고랭이와 결합되어 분리되지 않았을 가능성이 있다. 이러한 경향이 반영되어 IL에서는 2005년 8월 세모고랭이가 생존했을 때의 유기물 값이 2005년 10월 이후 퇴적물에 묻혔을 때에 비해 약 3배에



**Figure 5. Seasonal variations of Ignition loss (A) in shoot and root and IL to dry weight ratio (B) of *S. triqueter* in Nakdong estuary.**  
 The data in Oct-05, Nov-05 and Mar-06 are detritus biomass  
 Note the unit difference between panel A and B.



**Figure 6. Seasonal variations of carbon (A) and nitrogen (B) biomass in shoot and root of *S. triqueter* in Nakdong estuary.**

The biomass in Oct-05, Nov-05 and Mar-06 are detritus biomass.

Note that the unit is weight (g) per unit area (square meter)

**Table 1. Seasonal variations of *S. triqueter* biomass (g/m<sup>2</sup>) measured with IL(ignition loss) and elemental analyzer.**

|                    |                |       | Apr-05 | Aug-05 | Oct-05 | Nov-05 | Mar-06 | Apr-06 | AVG  |
|--------------------|----------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| Ignition loss      | Organic matter | Total | 2.6    | 184.3  | 49.1   | 56.2   | 28.4   | 5.1    | 54.3 |
|                    |                | Shoot | NA     | 164.2  | 27.9   | 46.3   | 15.4   | 3.0    | 51.4 |
|                    |                | Root  | NA     | 20.1   | 21.1   | 9.9    | 13.1   | 2.1    | 13.3 |
| Elemental Analyzer | Nitrogen       | Total | 0.02   | 2.7    | 0.8    | 0.7    | 0.3    | NA     | 1.1  |
|                    |                | Shoot | NA     | 2.4    | 0.4    | 0.4    | 0.2    | NA     | 0.9  |
|                    |                | Root  | NA     | 0.3    | 0.4    | 0.2    | 0.2    | NA     | 0.3  |
|                    | Carbon         | Total | 0.5    | 80.8   | 36.5   | 37.7   | 13.7   | NA     | 33.8 |
|                    |                | Shoot | NA     | 68.6   | 19.4   | 29.6   | 8.3    | NA     | 31.5 |
|                    |                | Root  | NA     | 12.2   | 17.1   | 8.2    | 5.4    | NA     | 10.7 |

달했다. 이는 건중량에서 같은 시기에 2배 정도의 차이가 있었던 것을 고려하면, 세모고랭이에서 생체와 사체의 유기물(유기쇄설물) 양을 비교하는 데는 건중량 보다는 IL이 효과적임을 알 수 있다. 원소분석기를 이용하여 산출한 평방미터당 세모고랭이의 탄소량과 질소량은 각각 33.8과 1.1 g m<sup>-2</sup> 이었다(Table 1).

2005년 4월과 8월동안 건중량의 변화를 바탕으로 세모고랭이의 순생산성을 추정하여 보면, 538 g DW m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup> 였다. 이는 세모고랭이 지상부의 탈락이나 초식동물에 의한 소비를 고려치 않은 것으로서 순생산성의 최소값에 해당할 것이다(윤 1991). 이 값은 일반적인 염습지 대형일차생산자의 생산성(0.1~1 Kg DW m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>) 범위에 포함되고 있으나 약간 낮은 편이다(Mann 1982, 윤 1991). 또한 조사 장소나 시기가 달라 직접적인 비교는 힘들다. 윤(1991)이 1984년도에서 1989년까지 낙동강 하구의 세모고랭이를

대상으로 측정한 값(80~150 g DW m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>) 보다는 4~5배 높은 값이다. 원소 분석을 기초로 2005년 4월과 8월동안 순생산성을 추정하여보면 탄소량으로는 240 g-C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>(54 mmole-C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), 질소량으로는 8.2 g-N m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup> 에 해당한다. 즉 세모고랭이에 의해 4~8월동안 평방미터당 약 2.7 g 의 질소(약 200 mmole에 해당)가 세모고랭이의 생체로 유입되었다. 일간 변화로 환산하면 1.6 mmole-N m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> 에 해당하는 양이다. 2005년 11월에서 2006년 3월 동안의 세모고랭이 쇄설물의 탄소 및 질소 함량 변화를 기초로 세모고랭이의 생체가 분해되는 속도를 추정하여 보았다(Fig. 6). 이 기간 동안 탄소 분해율은 198 mg-C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>(16 mmole-C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) 이고 질소 분해율은 2.8 mg-N m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>(0.23 mmole-N m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)이었다. 본 조사에서 추정된 세모고랭이의 탄소 분해율은 강화도 갯벌에서 측정된 퇴적물

산소요구량(SOD: sediment oxygen demand)과 유사한 값이었다(안 2005). 본 조사결과는 전체 퇴적물을 대상으로한 유기물 분해율(SOD)이 아니고 단지 세모고랭이의 탄소함량 감소만을 추정한 것으로서 본 조사지역의 SOD는 이 결과보다는 클 것으로 예상된다.

### 3.3 탄소와 질소 함량의 계절 변화

원소분석기를 이용하여 구한 세모고랭이의 탄소와 질소함량은 각각 36~44% 와 0.86~1.27%의 범위를 보였다(Fig. 7, Fig. 8). 본 조사에서 측정된 세모고랭이의 질소함량은 시화지구에서 측정된 갈대의 질소함량(0.77~1.47%; 노 등 2002)과 유사한 값이다. 계절에 따른 탄소 및 질소함량의 변화를 살펴보기 위하여, 2005년 4월에서 8월까지, 세모고랭이가 살아있을 때와

2005년 10월에서 2006년 3월까지 유기체설물로서 퇴적물에 묻혔을 때를 비교하여 보면, 탄소함량은 뿌리에서는 큰 차이를 보이지 않았으나, 줄기에서는 살아있을 때 높은 값을 보였다(Fig. 7). 질소성분에서는 생체와 사체의 차이가 뚜렷하였는데, 줄기부분에서 생체의 함량(평균 1.4%)은 사체(평균 0.74%)에 비하여 거의 2배에 달했다(Fig. 8(A)). 뿌리부분에서는 2005년 10월에서 2006년 3월까지도 1.0%의 비교적 높은 질소함량을 유지하여 지상부가 살아있을 때의 평균값인 1.1%와 유사한 값을 나타내었다(Fig. 8(B)). 뿌리부분은 지상부가 소멸된 후에도 피경과 함께 살아있어 질소성분 감소가 나타나지 않았다. 미생물에 의한 유기물 분해시 신선한(질소함량이 높은) 유기물이 우선적으로 분해하고 이에 따라 퇴적물이나 부패 과정에 있는 유

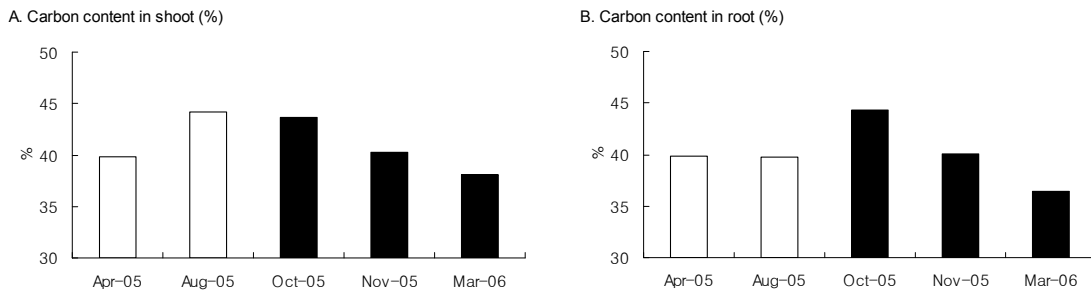


Figure 7. Seasonal variations of organic carbon content in shoot (A) and root (B) of *S. triquetra* in Nakdong estuary. The contents in Oct-05, Nov-05 and Mar-06 are detritus contents. Note that the unit is %

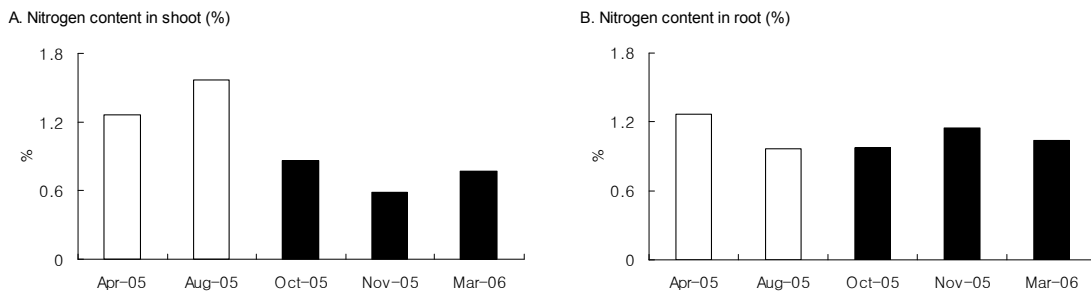
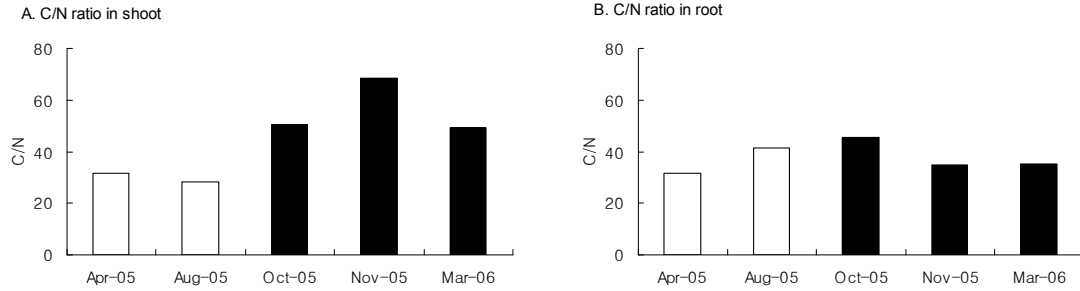


Figure 8. Seasonal variations of organic nitrogen content in shoot (A) and root (B) of *S. triquetra* in Nakdong estuary. The contents in Oct-05, Nov-05 and Mar-06 are detritus contents. Note that the unit is %





**Figure 9. Seasonal variations of C/N ratio in shoot (A) and root (B) of *S. triquetra* in Nakdong estuary.**

The ratio in Oct-05, Nov-05 and Mar-06 are detritus ratio.

기물의 탄소/질소 비율(C/N ratio)은 시간에 따라 높아지는 경향을 보이게 된다(이와 한 2001). 계절에 따른 세모고랭이 지상부의 C/N ratio는 이러한 경향이 잘 반영되어 생체와 사체 간에 뚜렷한 차이가 존재하였다(Fig. 9). 2005년 4월과 8월, 세모고랭이가 살아 있을 때 C/N ratio는 평균 29.8이었으나 2005년 10월에서 2006년 3월까지 사체로서 퇴적물에 묻혔을 때는 평균 56으로 증가하였다(Fig. 9(A)). 이에 비해 뿌리부분은 계절에 따른 값의 변화가 거의 없어 2005년 4월과 8월에 평균 36.4, 2005년 10월에서 2006년 3월까지 평균 38.6의 값을 나타내었다(Fig. 9(B)).

#### 4. 결론

명지지역에 서식하는 세모고랭이의 성장특성을 살펴보면 4월에 싹이 튼 후 7월까지 빠르게 성장하며, 7~8월에 최대성장을 이루었다. 최대 성장시 지상부 길이는 60 cm, 폭은 0.56 cm, 뿌리길이는 9.4 cm 였다. 개체의 생체량도 길이와 유사한 증가 양상을 보였는데 최대 성장시 습중량은 3.5 g ind<sup>-1</sup>, 건중량은 0.6 g DW ind<sup>-1</sup> 였다. 2005년 4월과 2006년 4월 사이에 뿌리부분의 건중량은 큰 차이를 보였는데 이는 괴경의 중량차이에서 기인하였다. 괴경의 중량차이는 새싹이 나와 얼마만큼 성장하였는가에 따라 달라졌는데, 2005년 4월에는 싹이 나온 후 상당기간 성

장하여, 괴경이 작아 졌으며, 2006년 4월에는 새싹이 나온 후 얼마 지나지 않아 괴경 중량이 유지되었다.

명지지역의 단위면적당 세모고랭이의 생체량은 7~8월에 최댓값을 보였다(건중량 = 186 g DW m<sup>-2</sup>). 10월 이후 세모고랭이의 지상부가 퇴적물 속 유기쇄설물로 바뀐 이후에도 상당한 양의 생체량이 유지 되었는데, 2005년 10월에 83 g DW m<sup>-2</sup>, 11월에 94 g DW m<sup>-2</sup> 으로 최댓값의 50% 에 달했다. 겨울동안 유기쇄설물은 미생물 분해에 의하여 그 양이 계속 감소하였으며, 2006년 3월에 생체량은 36 g DW m<sup>-2</sup> 이 되었다. 퇴적물에 묻힌 지상부 유기쇄설물의 양이 미생물 분해에 의하여 급격히 감소함에 비하여, 뿌리와 괴경을 포함한 지하부는 20 g m<sup>-2</sup> 에서 15 g m<sup>-2</sup> 으로 28% 감소하는데 그쳐 괴경을 포함한 뿌리부분은 퇴적물에 묻혀있는 가을 겨울 동안에도 부패하지 않고 살아있음을 알 수 있었다.

2005년 4월과 8월동안 건중량의 변화를 바탕으로 세모고랭이의 순생산성을 추정하여 보면, 538 g DW m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup> 였다. 원소 분석을 기초로 2005년 4월과 8월동안 순생산성을 추정하여보면 탄소량으로는 240 g-C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>(54 mmole-C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), 질소량으로는 8.2 g-N m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup> 에 해당한다. 즉 세모고랭이에 의해 4~8월동안 평방미터당 약 2.7 g 의 질소(약 200 mmole에 해당)의 질소가 세모고랭이의 생체로 유입되었다. 2005년 11월에서 2006년 3월

동안의 세모고랭이 쇠설물의 탄소 및 질소 함량 변화를 기초로 세모고랭이의 생체가 분해되는 속도를 추정하면 탄소 분해율은  $198 \text{ mg-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  ( $16 \text{ mmole-C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ )이고 질소 분해율은  $2.8 \text{ mg-N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  ( $0.23 \text{ mmole-N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ )이었다.

세모고랭이가 살아있을 때와 퇴적물에서 유기 쇠설물 형태로 존재할 때 탄소 함량을 비교하면, 줄기 부분에서는 살아있을 때 높은 값을 보인 반면, 뿌리에서는 차이를 보이지 않았다. 이러한 경향은 질소함량에서 더 뚜렷하게 나타나서, 살아있을 때 지상부의 질소 함량은 유기쇠설물의 질소함량에 비해 2배에 달했다. 뿌리 부분에서는 지상부가 사라진 겨울동안에도 질소함량의 변화는 나타나지 않았다. 탄소와 질소의 비율(C/N ratio)을 살펴보면 유기쇠설물에서 생체에 비해 C/N ratio가 높아, 미생물 분해시 질소성분이 우선적으로 사용됨을 알 수 있었다.

## 사 사

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었습니다. 연구에 도움을 준 김구연 박사님, 권지남에게 감사드립니다. 좀 더 나은 논문이 되도록 도움 말씀을 주신 민병미, 김창환 박사님께 감사드립니다.

## 참고문헌

김구연, 이찬우, 윤해순, 주기재 (2005). 낙동강 하구의 수생관속식물의 분포 변화와 수금류(고니류)의 먹이식물인 세모고랭이의 성장변화. *한국생태학회지* 28(5): pp. 335~345.

김준호, 문형태, 민병미, 조경재 (1989). 낙동강 하구 염습지 식물군락의 질소 및 인의 동태. *한국생태학회지* 12(1): pp. 1~7.

김준호, 조경재, 문형태, 민병미 (1986). 낙동강 하구 사주의 갈대, 천일사초 및 갯잔디 군락의 생활동태. *한국생태학회지* 9(2): pp. 59~71.

노희명, 최우정, 이은주, 윤석인, 최영대 (2002). 시화지구 인공습지에서 갈대에 의한 질소 및 인의 흡수. *한국생태학회지* 25(5): pp. 359~364.

안순모 (2005). 강화도 갯벌 퇴적물의 산소요구량과 탈질소화의 계절 변화. *한국해양학회지*. 10(1): pp. 63~70

윤해순 (1991). 낙동강 하구 간석지의 수생관속 식물에 관한 연구. 하구둑 건설 전후의 간석지 식생의 비교. *한국생태학회지* 14(1): pp. 63~73.

이강현, 한명우 (2001). 퇴적물내 유기물의 초기 속성 작용에 나타난 유기질소의 선택적 분해. *한국해양학회지*. 6(2): pp. 63~70

환경부 (2005). 낙동강 하구역 습지생태계 훼손 지역 복원 및 관리기술(I). 차세대핵심환경기술개발사업 연구보고서. p. 117

환경부 (2006). 낙동강 하구역 습지생태계 훼손 지역 복원 및 관리기술(II). 차세대핵심환경기술개발사업 연구보고서. p. 149

Capone, D.G. (1988). Benthic Nitrogen fixation. In: *Nitrogen Cycling in Coastal Marine Environments*, edited by Blackburn, T.H. and J. Sorensen, Wiley.

Howarth, R.W., R. Marino, J. Lane and J.J. Cole (1988). Nitrogen fixation in freshwater, estuarine and marine ecosystems. I. Rates and Importance. *Limnol Oceanogr.*, 33: pp. 669~687.

Howes, B.L., J.W.H. Dacey and G.M. King (1984). Carbon flow through oxygen and sulfate reduction pathways in salt marsh sediments. *Limnol. Oceanogr.*, 29(5): pp. 1037~1051.

Kang CK, Choy EJ, Paik SK, Park HJ, Lee KS, An S. In print. Trophic importance of algal carbon to macroinvertebrate production in an intertidal salt marsh *Scirpus triquetra* ecosystem. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*

Mann, K.H. (1982). *Ecology of coastal waters. A system approach*. Blackwell

- Scientific Publication. Oxford. pp. 18~22.
- Odum WE. and Heald EJ. (1975). The detritus-based food web of an estuarine mangrove community. In *Estuarine Research*. L.E. Cronin(Ed.), Vol 1. pp. 265~286. New York: Academic Press.
- Pinckney, J., D. Millie, B. Vinyard and H. Paerl, (1997). Environmental controls of phytoplankton bloom dynamics in the Neuse River Estuary, NC, USA. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic science.*, 54: pp. 2491~2501.
- Rowe, G.T., C.H. Clifford, J.K. Smith and P.L. Hamilton (1975). Benthic nutrient regeneration and its coupling to primary productivity in coastal waters. *Nature.*, 255: pp. 215~217.
- Ryther, J.M. and W.M. Dunston (1971). Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. *Science.*, 171: pp. 1008~1013.
- Seitzinger, S.P. (1990). Denitrification in aquatic sediments. In: *FEMS Symposium on Denitrification in soil and sediment* edited by Revsbech, N.P. and J. Sorensen, Plenum, 56: pp. 301~322.
- Teal, J.M. (1962). Energy flow in the salt marsh ecosystem of Georgia. *Ecology* 43: pp. 614~624.