

## 하구 생태 복원을 위한 생태구역 구분; 남해 고성만 고성천 인근 하구의 예

안순모\* · 이상룡 · 최재웅  
부산대학교 지구환경시스템학부

### Classifications of Ecological Districts for Estuarine Ecosystem Restoration; Examples of Goseong Bay Estuaries, South sea, Korea

SOONMO AN\*, SANGYONG LEE AND JAE UNG CHOI  
*Division of Earth Environmental System, Pusan National University, Busan, Korea*

연안 하구는 인위적인 개발압력이 상존하며 자연적인 변화에도 민감하게 반응하는 지역이다. 따라서 보존과 지속 가능한 이용을 위해서는 하구 생태계의 구조와 기능에 대한 이해가 필요하며, 인위적 혹은 자연적 변화에 어떻게 반응할 것인지를 아는 것이 필요하다. 하구 생태계 변화의 방향과 현 상태를 용이하게 판단하기 위한 노력의 하나로 서 비오톱(biotope)과 하구 타입 분류(typology)를 이용하여 “생태 구역”을 정의하였다. 하구댐의 유무, 염분특성, 식생유무에 따라 16개의 생태 구역을 정의하였고, 고성만에 위치한 고성천 인근 4개 하구(배둔, 구만, 마암, 고성) 생태계에서 지형, 하상경사, 퇴적물 특성, 염분 구조, 식생 면적 등을 통해 생태구역 구분을 시도하였다. 고성천 인근 하구에는 총 16개 생태구역 중 7개가 구분되었다. 자연형 하천인 구만천, 마암천, 배둔천의 상류에는 NFB(natural, fresh, bare)가 나타나고 있으며, 기수 지역에는 NLV(natural, low salinity, vegetated)가 그리고 갯벌에는 NHB(natural, high salinity, bare)가 나타났다. 폐쇄형인 고성천의 경우 담수지역에는 CFB(closed, fresh, bare), 이후 하구쪽으로 CFV(closed, fresh vegetated)가 나타났다. 갈대가 넓게 서식하는 하구댐 안쪽지역은 CLV(closed, low salinity, vegetated)가 나타나며, 거산방조제 바깥쪽은 CHB(closed, high salinity, bare)가 나타났다. 고성천의 CHB와 CLV 지역은 방조제가 하구 생태계에 미치는 영향을 잘 보여주고 있다. 염분이 비교적 높고, 수심이 깊은 수로나 갯벌이 존재하던 CHB 지역이 하구둑에 의해 고염분 지역과 단절되면서 염분이 감소하고, 조석의 영향이 줄어들면서 침수가 줄고, 결국 갈대가 서식하기에 적합한 환경으로 바뀌게 되며, CLV로 바뀐 것으로 여겨진다. 국내의 여러 하구에 나타나는 생태구역을 데이터베이스화하여 각 생태구역의 출현 분포를 파악하는 것이 필요하며, 이러한 자료는 인위적, 자연적 변화에 의한 하구 생태계 변동을 예측하고 관리/대응 방안을 마련하는데 이용될 것이다. 생태구역 변화는 생태구조와 기능의 변화를 가져오기 때문에 생태계 역할 및 가치의 변화를 수반하며, 생태 구역 변화를 야기하는 사업의 타당성을 판단하는 근거자료로 이용될 수 있다.

Estuarine ecosystem responds sensitively to natural and anthropogenic perturbations. It is necessary to identify the direction of the change when the perturbation occurs as well as to understand the structure and functioning of estuarine ecosystem for a proper management of the area. In this study, the estuarine habitats were classified into different ecological districts so as to the switch from one district to another district could be related to the environmental change due to the perturbations. Total 16 ecological districts was defined according to the presence of barrage, salinity and vegetation characteristics. The defined ecological districts were applied to small estuaries in Goseong bay, south sea of Korea (Baedun, Guman, Maam, Goseong) to distinguish different regions which might have characteristic bottom topography, inclinations of river bottom, sediment characteristics, salinity structure and area of vegetation. Total 7 out of 16 ecological district was identified in this region; NFB (natural, fresh, bare), NHB (natural, high salinity, bare), NLV (natural, low salinity, vegetated) in natural (without barrage) estuaries and CFB (closed, fresh, bare), CFV (closed, fresh vegetated), CLV (closed, low salinity, vegetated), CHB (closed, high salinity, bare) in closed (with barrage) estuary. A comparison of environmental factors and biota between CHB and CLV demonstrated the effect of barrage on estuarine ecosystem. The height and sediment characteristics of CHB and CLV were similar but the average salinity was lower in CLV than in CHB due to the barrage, which produced favorable condition for the

\*Corresponding author: sman@pusan.ac.kr

*Phragmites australis* in CLV. Information regarding the ecological districts in various sizes and location could be useful for predicting the ecosystem change due to natural and anthropogenic perturbations and for preparing management actions.

**Keywords:** Estuary ecosystem, ecosystem classification, estuary restoration, ecological district, Goseong Bay

## 서 론

현재 국내에서 자연적인 하구는 거의 존재하지 않고, 대부분의 하구역이 물리적으로 훼손된 상태이다(지속위 2006). 국내의 17개 주요 하구역의 인구밀도는 1,324명 km<sup>2</sup>로 우리나라 평균인구밀도의 2.8배에 이르러 산업폐수 및 생활하수 등 육상오염원 유입 부하를 증가시키고 동시에, 공유수면 매립간적으로 갯벌이 사라지면서 유입된 오염물질을 정화할 수 있는 하구역의 기능은 상실되거나 저하되고 있다(지속위 2006). 특히 대부분의 하구는 하구둑이 건설되어 담수와 해수가 단절됨으로서 오염물질 희석확산이 저해되고, 하구둑 내에 중금속 등 유해오염물질을 축적되고 생물자원이거나 생물다양성이 감소되는 등 하구 생태계를 위협하고 있다. 해수와 담수가 자연스럽게 섞이던 기수 지역이 사라져 기수종 역시 사라지고 있으며, 이를 기반으로 한 하구의 기능이 사라지고 있다. 이 중에서도 기수성 대형일차생산자 즉, 염생식물(halophyte)의 서식면적 변화나 소멸은 하구 생태계에 큰 영향을 주게 되는데, 그 이유는 다른 해양환경과는 달리 이들이 하구 일차생산성의 대부분을 담당하며, 이들이 생산한 유기물이 부식성 먹이망(detritus food chain)을 통해 하구생태계의 기반이 되기 때문이다(안 등 2006a, Bart and Hartman 2003). 이와 함께 하구둑의 존재는 하구의 자정/정화작용과 유기물 공급기능을 변화시키거나 소멸 시킬 수 있으며, 육상 기원물질 공급차단, 해안침식 초래, 담수호 수질 악화, 담수량 감소로 홍수방지 능력 약화, 화유생물 이동통로 차단 등의 악영향을 초래하고 있다(지속위 2006).

이처럼 하구둑이 생태계에 미치는 부정적인 영향이 부각됨과 더불어, 농업용수 확보, 홍수 방지 등의 하구둑 본래 기능이 약화되면서 하구둑 제거나 구조변경에 관한 논의가 활발하게 일어나고 있다. 시화 방조제나 새만금 방조제 건설을 둘러싼 논란에서 알 수 있는 바와 같이, 대형공사가 인근 생태계에 미치는 영향이 정확하게 알려지지 않았을 때, 커다란 사회적 논란과 비용을 지불하게 된다(안 등 2006b). 따라서 하구 생태계의 구조와 생태적 기능에 대한 이해가 필요하며, 하구둑 건설이나 기타 연안 하구개발이 그 곳 생태계에 미치는 영향을 정확하게 판단할 수 있는 수단이 절실히 필요한 실정이다.

하구는 담수와 해수의 혼합, 조석작용 등으로 자연적인 환경변화가 심한 곳이며 계절별 담수유입량 변화, 혹은 연간 강수 변화 등에 따라 일간/계절간/연간 염분구조 변화가 심하며, 이에 따라 담수/기수/해수종의 서식지역이나 서식밀도, 다양성이 크게 변할 수 있는 지역이다. 이처럼 자연적인 변이가 크기 때문에, 하구둑 건설 등 인간의 활동이 생태계에 미치는 영향 정도를 파악하는 것이 쉽지는 않다. 인위적인 활동이 하구 생태계에 어떤 영향을 주는지를 알기 위해서는 계절 변화 등 자연적으로 일어나는 변이를 정밀하게 파악하는 것이 필요하다. 하구 환경변화를 평가하기 위해서는 대조구(reference site), 즉 평가 대상 환경과 유사한 환경

이나 인위적인 영향이 없었던 지역을 선정하여 비교 평가하는 것이 일반적이다(Ducrottoy 2010, Borja *et al.* 2008). 연안의 환경 오염은 전 세계 공통으로 겪는 문제로서 인구밀도나 경제 수준에 따라 차이는 있으나, 인위적인 영향이 적거나, 없는 곳, 즉 대조구를 찾는 것은 매우 어려운 상황이며 각 상황마다 적절한 방법을 동원하여 대조구를 대신하고 있다(Borja *et al.* 2008). 유럽 연합은 WFD(water frame directive)를 통해 2015년까지 유럽 주요 하구를 건강한 상태(GES; Good Ecological state)로 만들기 위한 노력을 기울이고 있다(Borja 2005). 각 하구의 현재 상태를 기준이 되는 건강한 하구, 즉 대조구와 비교하여, 판단하고 만일, 특정하구가 기준에 못 미치면, 이를 복원하기 위한 모든 노력을 경주하도록 하고 있다(Ducrottoy 2010). 이를 위하여, 각 하구의 현재 상태를 판단할 수 있는 방법을 개발하였는데, 기본적으로는 여러 하구를 유형별로 구분하고(typology), 화학 물질의 농도 및 생태지수를 활용하여 부영양화 정도나, 생태계의 영향 정도를 판단하고 있다. 생태지수로는 주로 AMBI(Azti Marine Biotic Index; Borja *et al.* 2000)나 BOPA(Benthic Opportunistic Polychaetes/Amphipods ratio; Borja *et al.* 2000, Dauvin *et al.* 2007) 등 저서동물의 다양성을 이용하고 있는데, 이는 저서동물이 이동성이 적어, 그 지역의 환경을 피할 수 없고, 변화가 심한 연안에서 특정시간의 환경변화를 누적하여 보여줄 수 있기 때문이다. 최근에 Ducrottoy(2010)는 이러한 지수가 갯벌 등의 조건대 지역에서는 적용되기 힘들며, 이보다는 비오톱(biotope)의 개념을 사용하는 것이 더 적합하다고 제시하였다. 저서생물을 이용하여 개발된 생태지수는 주로 조하대 지역을 대상으로 개발된 것으로서 환경오염의 영향이 없더라도 조건대 생태계는 AMBI나 BOPA에서 환경오염의 지표로 삼는 수치들, 즉 생체량 대 풍부도 비율(biomass/abundance ratio)이 낮고 풍부도 대 종다양성 비율(abundance/species richness ratio)이 높은 특징을 가지고 있어 이들 수치의 변화로 환경오염을 정의하기는 어려웠다(Ducrottoy 2010). 이를 극복하기 위한 방법의 한가지로서 비오톱(Biotope) 혹은 bio-facies 사용을 제안하였다. 비오톱을 이용하는 목적은 연안의 생태계와 지리-경관학에 영향을 미치는 자연적인 혹은 인위적인 교란에 반응하는 자연의 변화 정도를 판단하려는 것이다.

유럽과 일본에서 자연보호와 복원에서 중요한 개념으로 등장한 비오톱이라는 용어는 경관생태학의 분야에서 생성된 것이다. 비오톱은 “어떤 일정한 생명 집단 및 사회 속에서 입체적으로 다른 것들과 구별할 수 있는 생명 공간”을 말하며 또한 이 공간은 다소간의 차이는 있지만 동일한 성격을 가지며, 이에 따라 주변공간들과 확실하게 구분할 수 있다(Olenin and Ducrottoy 2006). 지난 10년간 비오톱은 연안 생태계에서는 저서생물의 서식 지역을 구분하기 위한 목적으로 주로 사용되었는데, 특정 저서생물의 서식유무나 갈대 등의 염생식물 식생의 유무 등 경관 적이고 구조적인 특징을 나타낼 수 있을 뿐만 아니라, 유기물의 생산, 저장, 분배, 생

식, 퇴적상의 변화 등 생태계의 기능적인 측면의 차이를 대변할 수 있다(Ducrottoy 2010, Connor 2004).

국내의 거의 모든 하구는 하구둑으로 막혀 있으며, 자연 상태, 즉 하구둑이나 매립, 부영양화의 영향이 없는 곳은 찾아보기 힘든 실정이다. 이처럼 대조구를 찾기 힘든 상황에서 남해 고성만에 위치한 배둔천 하구는 하구둑의 영향을 살펴 볼 수 있는 기회를 제공하고 있다. 이곳은 비교적 좁은 지역에 하구둑이 존재하는 고성천과 하구둑이 존재하지 않는 배둔천, 마암천, 구만천이 위치하고 있어, 이들 지역의 차이를 살펴봄으로서 하구둑의 영향을 판단할 수 있다. 본 연구에서는 비오톱의 개념을 도입하여, 인위적 활동으로 인한 하구 생태계의 변화 특히 하구둑으로 인한 하구생태계 변화 정도를 평가하려고 계획 되었다. 즉 퇴적물 특성, 식생, 염분 특성에 따라 각 생태구역(ecological district)을 정의하고 하구둑의 유무에 따라, 각 생태구역의 환경 및 생태 특성을 기술하였다. 하구둑의 다양한 서식지를 유사한 환경 및 식생조건을 가진 생태구역으로 분류하고, 자연적인 혹은 인위적인 환경 변화가 일어났을 때, 하나의 생태구역이 다른 생태구역으로 변화할 수 있는가를 보이고자 한다. 본 결과는 국내 여러 하구의 생태구역 구분에 기초가 되어, 각 하구간의 비교를 위한 틀을 제공할 수 있으며, 향후 하구 생태 복원을 효과를 판단하는 기준을 제공할 수 있을 것이다.

**연구 방법**

**연구지역**

연구 대상지역은 경상남도 고성군 회화면 당항리에 위치한 소하천들로서 배둔천, 구만천, 마암천 그리고 고성천의 하류 지역과 이들 하천이 당항만으로 유입되는 하구 지역이다(Fig. 1). 배둔천, 구만천, 마암천은 본 연구지역 중 북쪽에 위치해 있으며 당항포의 갯벌 지역으로 연결되어 있다. 이들 하천 남쪽에 위치한 고성천은 비교적 규모가 크고, 특히, 바다와는 배수갑문이 있는 거산 방조제가 존재하여, 담수와 해수의 혼합이 제한되고 있다(Fig. 1). 하천의 유역면적은 배둔천이 12.3, 구만천이 34.2, 마암천이 20.6, 고성천이 19.7 km<sup>2</sup> 등으로 유사하나, 하천 폭은 고성천이 가장 큰 편이다(<http://www.river.go.kr>).

**연구지역의 생태지도, 하상 경사 및 해수 침투 범위 설정**

생태계를 관리하고 평가하기 위해 방안의 하나로서 해당 지역의 종합적인 정보(지질, 지형경관, 기후, 토양, 자연 식생, 생물의 분포, 보호대상 생물들의 서식현황, 토지 이용, 보호지역의 위치, 오염원, 수산물 생산 현황, 습지 용도지정 범위, 도로망 등)를 담은 생태지도를 작성하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 하구 생태구역 구분에 사용되는 핵심 사항을 대상으로 생태지도를 작성하였다. 이를 위해 4개 하천(마암천, 구만천, 배둔천, 고성천)의 주변 지형과 고도를 고정밀 RTK-DGPS를 이용하여 측정하였으며, 갈대 서식지 위치와 면적 역시 RTK-DGPS를 사용하여 파악하였고, 여기에 각 지역의 퇴적물 특성 등의 지리정보를 더하여 생태지도를 작성하였다.

생태구역 구분의 주요 요소 중 하나는 해수의 침투 범위이며, 시간에 따라 변하는 염분구배 및 염분구조를 강과 하구 지역에 따른 염분 변화와 한 지점에서 염분의 연속적인 변화측정 (mooring)



Fig. 1. Study area near Goseong stream. Four streams (Baedun, Guman, Maam and Goseong) were studied.

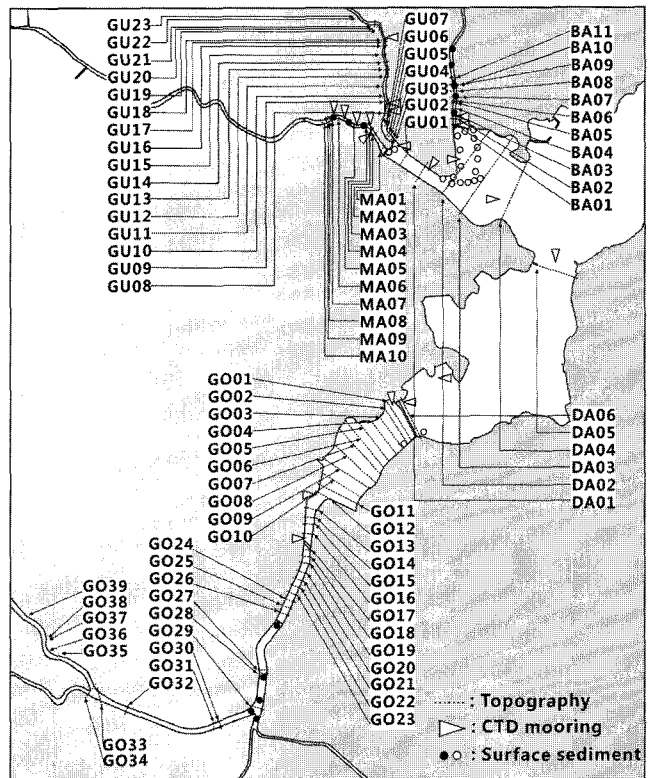


Fig. 2. Established transects for topography measurement along the four streams. CTD mooring sites and sediment sampling sites were also shown.

을 통해 파악하였다. 대조기에 하구에서 상류까지 염분이 침투 될 것으로 예상되는 지점에 CTD를 설치한 후 1주야 동안 mooring 관측을 실시하여 염분 1% 이상 변하는 구역을 파악하여, 이곳을 염분 침투 구역으로 정의 하였다(Fig. 2). 거산 방조제로 막힌 고성천의 경우 시간에 따른 염분변화는 기대할 수 없을 것으로 예상하고, 하상 경사를 측정하여, 이를 통해 만일 방조제가 없을 경우 어느 지역까지 해수가 침투 할 수 있는지를 파악하였다(Fig. 2). 총 5회의 mooring 이 실시 되었는데, 2009년 7월 예비 관측과 더불어 4회(2009년 8월과 11월, 2010년 2월과 5월)에 걸쳐, 조석의 영향이 큰 대조기 전후에 조사가 이루어 졌다. 특히 2009년 8월과 2010년 5월에는 4개 하천이 합류하는 인근 해역까지 관측이 이루어졌다(Fig. 2).

각 하천의 하상 경사는 RTK-DGPS(Huace X-90)와 ECHO-SOUNDER(AquaLuler200)를 이용하여 측정하였다. 하천 상류에서 하류로 가면서 하천을 가로 지르는 동안 지형의 높이를 정밀 측정하였고, 가장 낮은 곳의 높이를 이음으로서, 상류에서 하류로 갈 때 하상 경사를 파악하였다(Fig. 2). 하구의 갯벌지역의 경우, 소형 선박에 RTK-DGPS 와 ECHO-SOUNDER를 동시에 이용하여, 바닥의 절대 높이를 측정하였다.

**퇴적물 특성**

연구 지역 전체의 표층 퇴적물의 특성을 파악하기 위하여 4개 하천(마암천, 구만천, 배둔천, 고성천)과 조간대 지역을 포함하는 35개 정점에서 2009년 8월에 표층퇴적물을 채취하여 퇴적물 입도, 함수율, 강열 감량 등의 항목 등이 측정되었다(Fig. 2). 현장에서 채취된 시료는 실험실로 옮겨진 후 펄 성분이 우세한 조간대 시료와 역질이 우세한 하천 시료로 나누었다. 조간대 시료는 적당량을 500 ml 비커에 담고, 조개껍질 등의 탄산염 성분 물질에 의한 오차를 없애기 위해 0.1N 염산(HCl)으로 반응시켜 탄산염을 제거 하였다. 이후 10% 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)를 처리하여, 퇴적물 내의 유기물이 제거되었고, 습식체질(wet sieving)를 거쳐 조립질과 세립질 퇴적물로 분리되었다. 40 이하 등급에서 자갈시료는 10 간격으로 자갈의 장축과 무게를 측정하였고, 사질 시료는 10 간격으로 Ro-tap sieve shaker로 약 15분간 체질한 후 입도 등급별로 무게를 구하였다. 40 이상의 펄질 시료는 대푯값 50 ml을 취해 40 이상의 전체 무게를 환산하였다. 전체 무게에서 자갈과 모래, 펄의 비율(%)을 구하고, 이들 값을 이용해 퇴적상을 구하였다. 입도별 무게를 측정하여 Friedman과 Sanders(1978)의 입도 등급에 따라 구분하였다(해양수산부 2005).

**갈대 분포**

각 하천에 서식하는 대형 일차 생산자(갈대, 세모고랭이, 갈피)

의 분포 위치와 면적은 RTK-DGPS를 이용하여 파악 하였고 생태 지도에 표시 되었다.

**생태 구역 구분**

유럽 연합의 WFD(water frame directive) 에서는 하구역 구분 에 필수요소와 보조요인을 사용하였다(COAST, 2002) 즉 지형이나 염분처럼 하구의 특성을 기본적으로 결정하는 요인이 필수 요소가 되며 수층의 상태, 체류시간 등 각 하천의 상황에 따라 달라지는 보조적인 요인을 이용하여 하구 환경을 구분하였다. 본 연구의 생태 구역 구분에서도 일차적으로 지형(하구댐 등의 인공구조물 포함)과 염분을 생태구역 구분에 이용하였다. 국내 거의 모든 하구에 하구댐이 건설되어 있음을 고려할 때 하구댐이나 보의 존재 유무로 구분하는 것이 타당할 것이다(안 과 이 2009). 이에 따라 자연형(Natural form)과 폐쇄형(Closed form)으로 크게 나누고, 각 형태에서 나타날 수 있는 염분 특성에 따라, 담수, 저염, 고염, 해수(fresh, low salinity, high salinity, seawater)로 구분하였다 (Table 1). 다음으로 각각을 식생의 유무에 따라 다시 나누어, 결과적으로 총 16개의 생태 구역을 정의 하였다(Table 1).

**결과 및 토론**

**연구지역의 지형, 하상 경사**

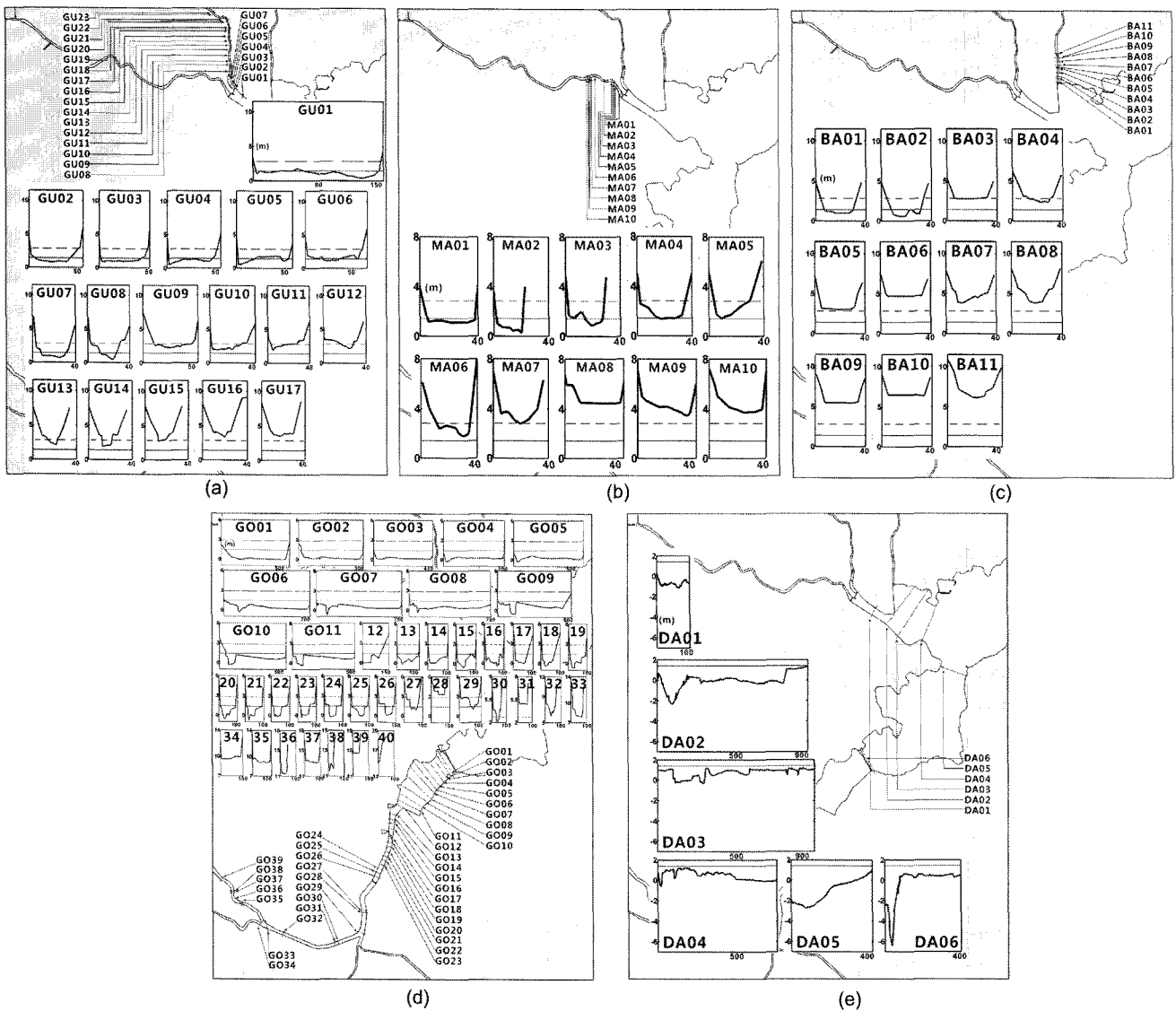
하구역에서 해수 유동과 담수와 해수의 혼합 등을 파악하기 위해서는 하천의 하상 구배를 포함한 하천 지형을 파악하는 것이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서 하천을 대상으로 지형측량을 실시 하였다. 측량 결과는 모두 통영 DL을 기준으로 환산하여 표시되었으며 수평 좌표는 WGS-84 Datum의 UTM 좌표계로 표시하였다. 구만천 하류 지점을 가로지르는 GU01의 경우, 약 150 m의 폭을 가지고 있었으며, 비교적 평평한 바닥을 이루고 있다(Fig. 3(a)). 상류로 갈수록 20~30 m 정도로 폭이 좁아졌으며, 중심이 깊어지고, 한쪽이 깊어 파여, 좌우의 불균형이 나타나기 시작하였다. 마암천의 경우, 폭이 30~40 m 정도로 구만천 보다는 좁은 편이었다. 상류로 갈수록 하상의 절대 높이가 급격히 높아져 큰 하상 경사를 보이고 있다(Fig. 3(b)). 고성천은 조사지역 중 가장 넓은 폭을 보여, 거산방조제 안쪽 가장 하류에 위치한 측선 GO01의 경우 폭의 넓이는 550 m 내외였다. 이 측선 서쪽에는 수로가 위치하여 비교적 깊은 수심을 보였고, 동쪽에는 수심이 얕아지고 갯벌이 발달되어 있었다. GO01에서 GO09까지는 넓고 평탄한 지형을 보였으며, GO09에서 상류로 갈수록 폭이 좁고 비교적 수심이 깊은 수로 발달되어 있었다(Fig. 3(C)).

각 측선에서 측정된 높이 중 가장 낮은 지점을 연결하여 하상

**Table 1.** Ecological districts in estuarine ecosystem

N (natural)								C (closed)							
F		L		H		S		F		L		H		S	
V	B	V	B	V	B	V	B	V	B	V	B	V	B	V	B
NFV	NVB	NLV	NLB	NHV	NHB	NSV	NSB	CFV	CFB	CLV	CLB	CHV	CHB	CSV	CSB

NFV: Natural-Freshwater-Vegetated; NVB: Natural-Freshwater-Bare; NLV: Natural-Low salinity-Vegetated; NLB: Natural-Low salinity-Bare; NHV: Natural-High salinity-Vegetated; NHB: Natural-High salinity-Bare; NSV: Natural-Seawater-Vegetated; NSB: Natural-Seawater-Bare; CFV: Closed-Freshwater-Vegetated; CFB: Closed-Freshwater-Bare; CLV: Closed-Low salinity-Vegetated; CHB: Closed-Low salinity-Bare; CHV: Closed-High salinity-Vegetated; CHB: Closed-High salinity-Bare ;CSV: Closed-Seawater-Vegetated; CSB: Closed-Seawater-Bare.



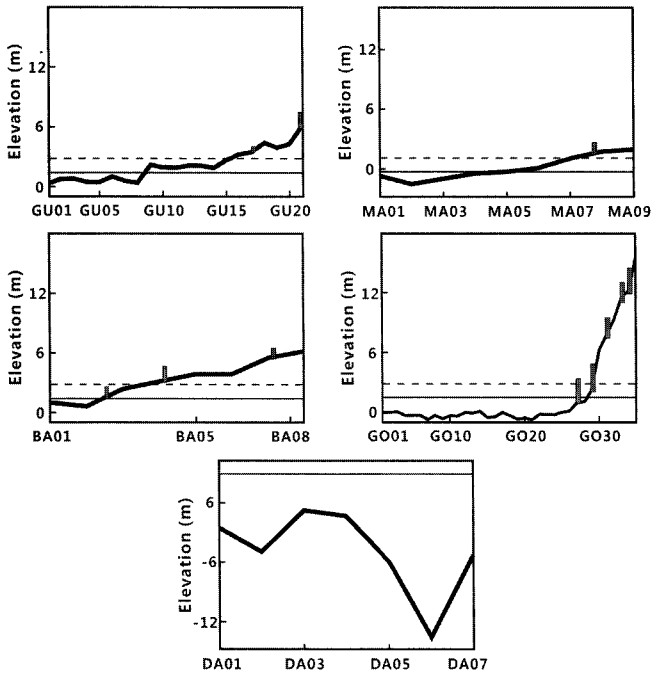
**Fig. 3.** Topography along the streams of (a) Guman stream (b)Maam stream (c) Goseong (d) Goseong stream and (e) tidal flat area. Broken line shows App. HHW (Approximated Highest High Water) and solid line shows MSL(Mean sea level). Y-axis shows the height (m) above Tongyong DL.

구배 변이를 구하였다(Fig. 4). 구만천의 하상은 하구 인근의 측선 GU01에서 GU08까지는 비교적 일정하여, 평균해수면 위 1 m 내외의 높이를 유지하다 GU09에서 급격하게 높아진 후 다시 일정하게 상류 쪽으로 증가 하였다. GU15인근에서는 다시 하상 경사가 증가하였는데, 이 지점은 구만천에서 가장 바닷가 쪽에 위치한 교각의 위치와 일치 하였다(Fig 4(a)). 이 지점의 하상은 통영 기준 약최고고조면(App.HHW; Approximated Highest High Water)와 일치하고 있어, 비록 보는 존재 하지 않으나, 이 GU15 보다 상류에 위치한 곳에서는 해수 침투가 힘들 것임을 추정할 수 있다. GU17 인근에 보가 존재하고 있으나, 보가 없더라도 염분이 이곳 까지 침투하지는 않을 것으로 예상된다. 마암천의 경우 MA01~MA07까지는 3 m 이하에 위치하였고, 특히 MA01~MA04는 통영기준 평균 해수면 아래 위치하였다(Fig. 4(b)). MA08을 기준으로 상류 지역은 App.HHW 보다 높은 곳에 위치하고 있어 이 부근이 염분의 영향범위임을 알 수 있다. 배둔천의 경우, 고성만과 인접한 BA1

부터 상류로 갈 때 하상경사가 매우 급하여, BA03에 이르면 App.HHW 높이에 다다르며, 특히 BA02와 BA03 사이에 보가 위치하고 있어, BA03의 경우, 고성만과 상당히 인접해 있음에도 불구하고, 염분의 영향은 거의 받지 않을 것으로 예상된다(Fig. 4(c)). 고성천의 경우 GO01~GO26까지는 통영기준 평균 해수면 아래 50 cm 정도에 위치하고 있고, 하상의 기복이 거의 없이 유지되고 있으며, GO27 이후 상류로 가면서 하상경사가 급격하게 증가하는 경향을 보였다. GO28~29가 평균해수면(MSL; mean sea level)에 위치하고, GO29와 GO30 사이에 App.HHW이 위치하여, 이 인근이 거산방조제가 없을 경우 염분이 침투할 수 있는 범위임을 추정할 수 있다.

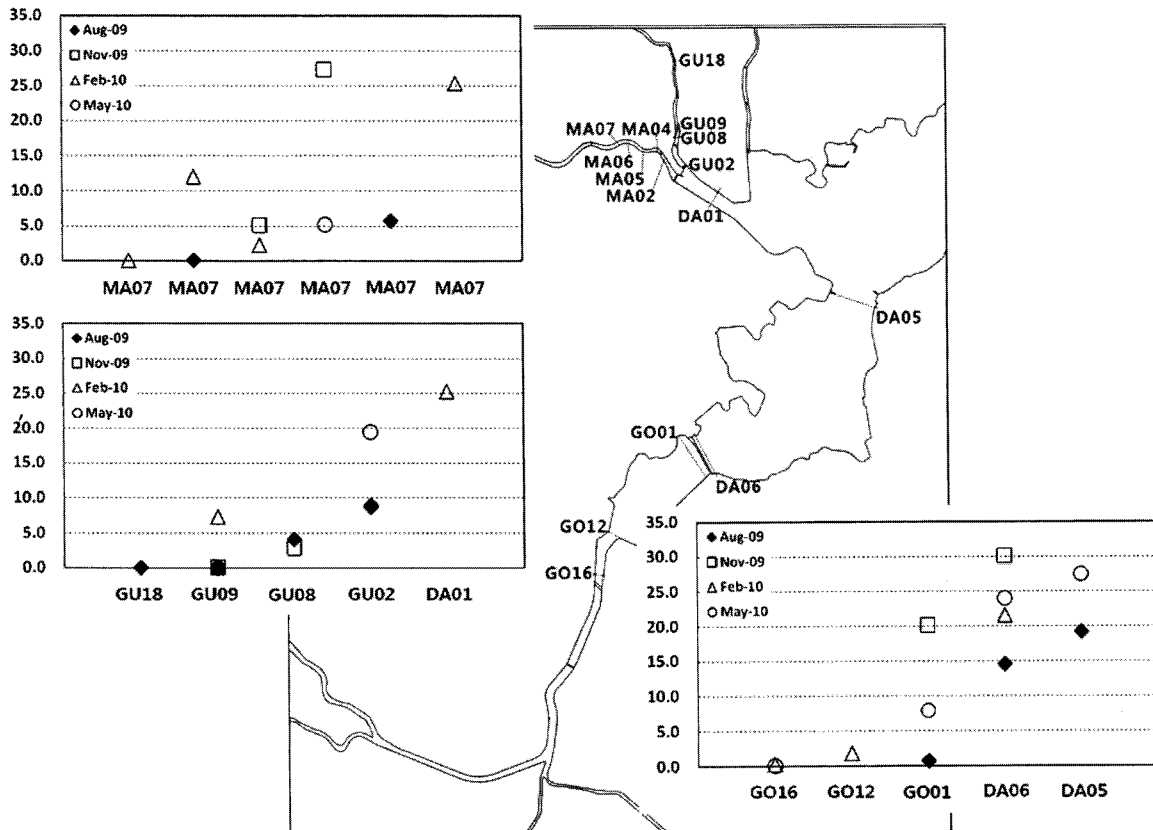
**계절에 따른 염분 구조 변화**

2009~2010에 걸쳐 풍수기와 갈수기에 각 하천 별로 상류에서 하류를 따라, 7~14일 동안 염분변화가 연속 측정되었다(Fig. 5).



**Fig. 4.** Height variations along the each stream. The lowest part of the each transect represents the height of the transect. See Fig. 3. for the locations of each transects. Broken line shows App.HHW and solid line shows MSL. Y-axis shows the height (m) above Tongtong DL. Shaded square shows the locations and height of the river dam. (a) Guman (b) Maam (c) Goseong.

각 계절에 1-2주 동안 4개 하천, 약 10개 지점에서 매 분 염분이 측정되어 많은 양의 자료가 얻어졌으나, 생태구역 구분을 목적으로 각 측정시기의 전체 자료를 평균하여 풍수기와 갈수기에 염분 영향범위를 산정하였다(Fig. 5). 각 지역의 특정시기 염분변화는 담수량과 조석의 영향 정도에 따라 그 변화폭이 결정되었다. 구만천의 경우 연속측정이 이루어진 4 지점(GOU02, GU08, GO09, GI18)에서 상류에서 하류로 가면서 염분 구배를 잘 보이고 있다. GU02와 하구에 위치한 DA01의 경우 풍수기(2009년 8월)와 갈수기 모두 평균 10 ppt 이상을 나타내어 염분의 영향이 큰 지점임을 알 수 있다. 정점 GU09의 경우, 담수 유입량이 많았던 8월에는 담수를 유지하였으나, 갈수기에는 염분의 침투가 있어 2010년 1월 조사에는 평균 7 ppt의 염분이 관측되었다. GO08도 GU09와 전반적으로 유사한 염분을 보였으나, 2009년 11월에는 GU09가 담수임에도 불구하고, GU08은 약 4 ppt의 염분이 나타났다(Fig. 5). 앞의 하상구배 결과에서 GU08과 GU09로 갈 때 높이가 급격히 증가하는데, 이러한 하상구배 변화가 염분 침투에 영향을 끼친 것으로 여겨진다. 마암천의 경우, 풍수기에는 MA05까지 염분이 낮아 평균 3 ppt 정도였으나, 갈수기(2010년 2월)에는 MA06에서 비교적 높은 염분이 관측되어, 12 ppt에 달하였다. 그러나 이 시기에도 MA07에서는 담수로 남아있어, 해수의 침투 범위가 MA06까지임을 알 수 있었다. 앞의 하상경사에서 결과에서 약최고고조면을 경계로 MA07과 MA08이 나누어 졌는데, 이는 염분 침투 범위 결과와 유사하였으나, 정확하게 일치 하지는 않았다. 본 조사에서 MA07의 갈수기 조사는 2010년 2월에 한번만 이루어 졌



**Fig. 5.** Seasonal salinity variations of three streams along the river. The average salinity values over 7~14 days continuous salinity measurement in each season was showed. The solid symbol (Aug-09) represents a wet season and empty symbols (other season) show dry seasons.

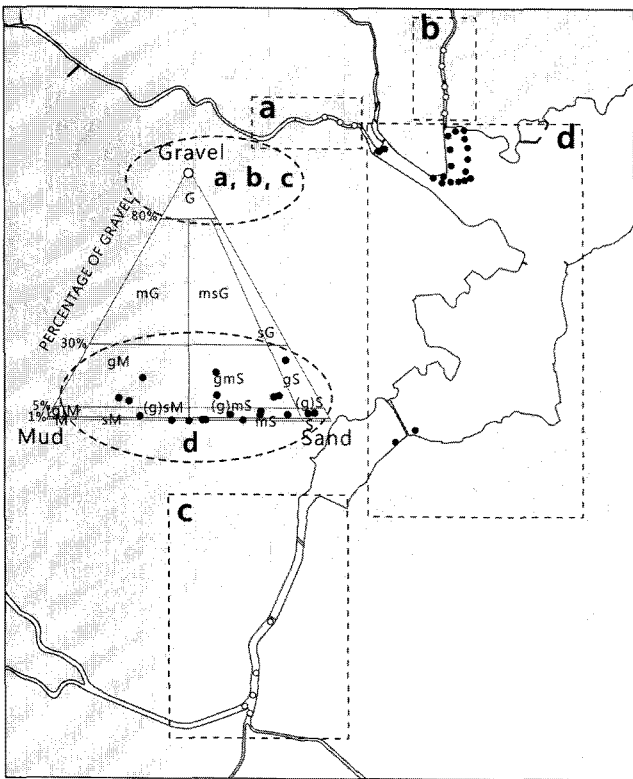


Fig. 6. Grain size characteristics of the sediment.

므로 다른 갈수기에 MA07까지 염분의 침투가 이루어졌을 가능성을 배제할 수 없다. 고성천은 거산방조제의 존재로 인하여, 방조제 안쪽으로는 해수의 침투가 없을 것으로 예상하였으나, 실제로는 갑문의 작동이 완벽하지 못하여, 담수 유입량이 적을 때(2009년 11월과 2010년 5월)는 많은 해수 침투가 있었음을 알 수 있다. 특히 방조제 바로 안쪽의 GO01에는 풍수기였던 2009년 8월에도 염분이 관찰되었다. 거산 방조제 외측 하구에는 풍수기에는 15~20 ppt의 염분을 나타냈으며, 갈수기에는 25~30 ppt의 값을 보였다(Fig. 5).

**퇴적물 특성**

조사지역에서 나타나는 퇴적상은 역질, 사질, 사니질로 이루어져 있다(Fig. 6). 자연형(구만천, 마암천, 배둔천)과 폐쇄형(고성천) 하구 모두 상류지역에서는 역질 퇴적물이 우세하였다(Fig. 6a, b, c 지역). 대상 소하천 모두 하상경사가 급한 편으로서 풍수기에 담수가 유입될 때, 빠른 유속으로 인해 역질 퇴적물이 이동하여 퇴적된 것으로 여겨진다. 담수 지역을 지나 염분이 낮은 혼합지역에서는 니질 퇴적물이 우세한 환경이었다(Fig. 6d 지역). 혼합지역을 벗어나, 갯벌지역에 이르면 다시 사질이 높아지는 경향이 보였다.

**생태 구역 구분**

유럽 연합의 WFD(Water Frame Directive)의 목적은 유럽 연합 내 여러 국가의 담수 연안수 등 여러 수자원을 좋은 상태(good water status)로 법령이 정한 시간인 2015년 까지 만드는 것이다(Borja 2005). 이를 위해 현재의 상태를 정확하게 평가하는 것이 필요하였는데, 특정지역의 상태가 어떤지, 현 상태를 좌우하는 주요 요

인은 무엇인지를 파악해야 목표 달성(2015년 까지 good water status)에 필요한 정책을 결정할 수 있기 때문이다. 다양한 생태계는 인위적인 오염에 대한 취약성이 다를 뿐만 아니라 자연적으로 존재하는 부영양화 원인물질(영양염이나 유기물질)의 농도도 서로 다를 것이기 때문에, 오염의 정도를 판단하려 할 때에는 유사한 특성을 갖는 생태계 별로 서로 다르게 취급하는 것이 필요하였다. 주로 물리적이거나 지질학적인 환경 요인과 생물학적 특징에 따라 여러 유형(typology)으로 구분하고 각 유형끼리 비교하는 방법이 이용되고 있다(COAST 2002). WFD에서 사용된 구분에서는 조차나 염분 등을 필수요소로 정하였고, 퇴적물 특성, 해류 속도 등을 선택적 요소로 사용하였다. 본 조사에서도 하구 생태계에 중요한 물리 지질학적 환경조건으로서 조고, 염분, 퇴적물 특성에 따라 각 지역을 구분하였고, 특히 이 지역의 가장 중요한 일차생산자인 갈대의 식생 유무에 따라 생태 구역을 정의하였다. 자연형 하천인 구만천 마암천과 하구 댐으로 막혀있는 고성천은 갈대 서식면적에 있어서 큰 차이를 보였다(Fig. 7). 구만천과 마암천의 경우 강을 따라 비교적 고도가 높은 지역에 좁게 서식함에 비해, 고성천은 하구댐 인쪽에 넓게 분포하고 있었다. 구만천의 경우, 정점 GU09 이후 간헐적으로 갈대가 나타나고 있으며, 구만천과 마암천이 합쳐지는 GU01 부근에 비교적 큰 갈대 서식지가 나타나고 있다. 고성천의 경우 거산방조제 안쪽에 넓은 갈대 서식지가 나타나고 있

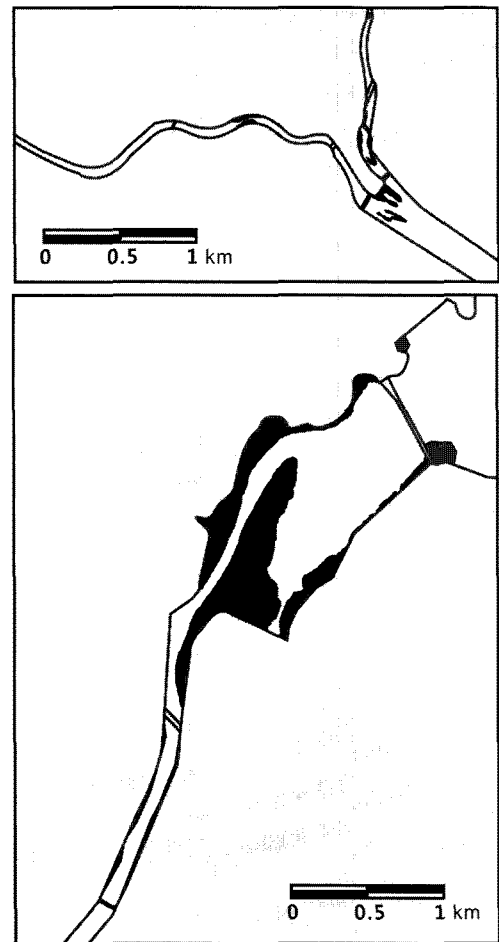


Fig. 7. Distributions of *Phragmites australis* in (a) Guman and Maam (b) Goseong estuary.



는데, 갯벌이 발달하고 경사가 낮은 서쪽 지역을 중심으로 넓게 분포하고 있다.

하상경사, 계절에 따른 염분 침투 범위 변화, 퇴적물 특성, 갈대 서식지 특성을 기준으로 구분한 생태구역의 분포를 Fig. 8에 나타내었다. 앞에서 하구댐의 유무, 염분특성, 식생유무에 따라 정의한 16개의 생태 구역 중, 고성천 인근 하구에는 7개의 생태 구역이 나타났다. 자연형 하천인 구만천, 마암천, 배둔천의 상류에는 NFB (natural, fresh, bare)가 나타나고 있으며, 염분의 영향을 받는 기수 지역에는 NLV(natural, low salinity, vegetated)가 그리고 갯벌 지역으로 가면서 NHB(natural, high salinity, bare)가 정의되었다. 거산방조제로 막힌 폐쇄형 하구인 고성천의 경우 담수지역에는 CFB(closed, fresh, bare)가 나타나고, 이후 하구쪽으로 가면서 CFV(closed, fresh vegetated)가 나타났다. 염분의 증가하고, 갈대가 넓게 서식하는 하구댐 안쪽지역은 CLV(closed, low salinity, vegetated)가 나타나며, 거산방조제 바깥쪽은 CHB(closed, high salinity, bare)가 나타났다. 구만천에서는 G08과 G09 사이에서 지형이 높아지며, 풍수기와 갈수기 모두 염분의 침투 특성이 달라졌으며 이 경계를 NFB와 NLV의 경계가 설정되었다. 마암천도 같은 기준을 적용하여, MA09와 MA10이 두 생태구역의 경계가 되었다. 고성천의 경우는 GO18과 GO19의 경계가 CFB와 CLV의 경계로 정해 졌는데, 지형의 높이는 큰 차이가 없었으나, 갈수기의 염분 침투 특성의 차이로 경계가 정해 졌다(Fig. 5). NLV와 NHB 그리고 CLV와 CHB의 경계 역시 염분 특성의 차이에 의해 정해졌는데, 풍수기 평균 염분이 10 ppt 이상인 지역을 각각 NHB와 CHB로 정의 하였다(Fig. 5).

자연형 하천과 폐쇄형 모두 담수의 영향이 지배적인 상류지역 (NFB와 CFB)에는 갈대와 같은 대형저서식물이 존재 하지 않았다. 이 원인 중의 하나는 이곳의 퇴적물이 주로 역질로 이루어져 있어, 갈대가 서식하기에 적합하지 않았기 때문으로 생각해 볼 수 있다. 이외에 염분의 영향이 전혀 없을 경우, 갈대와 같은 염생식물이 서식할 수 없는 환경이 조성되었을 수도 있으며 지형이 높아 갈대가 견딜 수 있는 침수/노출 범위를 벗어났을 수도 있다 (Chambers *et al.* 1998, Bart and Hartman 2003). 낙동강 하구둑 안쪽처럼, 염분의 영향이 거의 없지만, 넓고 평평한 지형과 사니질 퇴적물이 있는 지역의 경우, CFV(closed, fresh, vegetated)가 나타나고 있다(안 등 2007). 본 연구지역에서도 CFB와 CLV 사이에 그 규모는 작으나, CFB가 나타나고 있다. 그러나 대부분의 국내 소하천의 경우는 구만천이나 마암천처럼, 폭이 좁고, 하상 경사가 급한 경우가 많으므로 해수의 영향이 미치지 않는 하구의 강 쪽에는 NFB와 CFB가 일반적으로 나타날 것으로 예상된다.

하구지역에서 해양 쪽에 가까워 염분이 높은 지역에서도 자연형, 폐쇄형 모두 갈대의 서식지가 나타나지 않아 NHB와 CHB로 분류 되었다(Fig. 8). 이 지역은 조고가 낮고, 염분이 높으며, 니질 퇴적물이 우세한 지역인데, 이러한 환경 요인들 중에서 어떤 것이 갈대서식을 저해하고 있는지를 명확하게 가려내는 것은 쉽지 않을 것이다. 갈대 서식의 최소 고도는 침수시간, 염분 등이 좌우 하는 것으로 알려져 있으며, 퇴적물의 황화물 농도도 갈대의 정착에 영향을 미친다고 알려져 있다(Chambers *et al.* 1998). 고성천의 CLV와 CHB를 비교해 보면, 하구댐의 안과 밖에 위치하고 있으나 높이는 큰 차이를 보이지 않고 있다(Fig. 4(c)). 따라서 두 지역

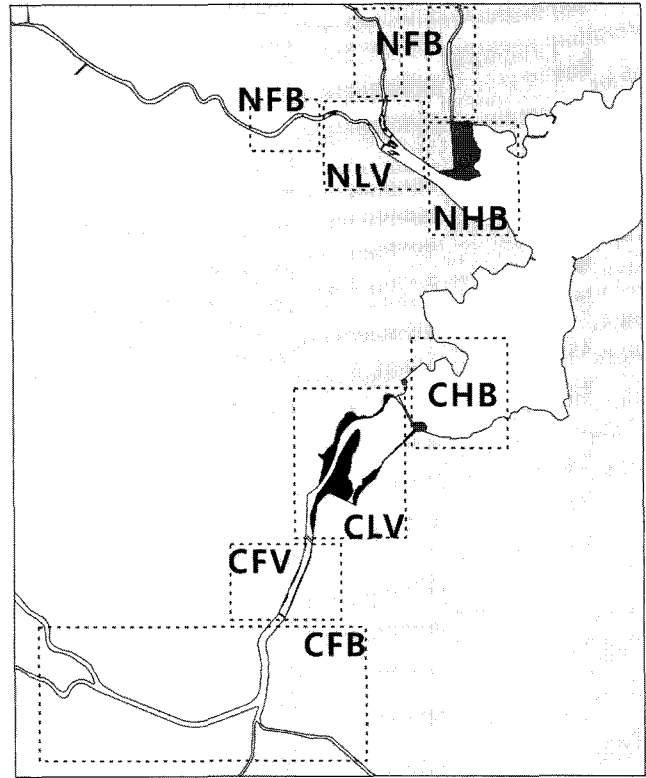


Fig. 8. Ecological districts distinguished by environmental and biological characteristics; See Table 1. for the details of each ecological district.

의 차이점은 침수시간 보다는 염분일 것으로 예상되며, 하구댐 바깥의 CHB 지역이나 구만천과 이어지는 갯벌지역의 NHB 지역에 갈대가 존재하지 않는 것은 염분이나 염분이 높을 때 주요 혐기성 호흡과정인 황산염 환원과정이 원인일 가능성이 크다(Chambers *et al.* 1998). 그러나 고성천의 거산방조제는 안과 밖의 염분 차이를 만들 뿐만 아니라, 조석의 영향이 방조제 안쪽으로 미치는 것을 막아 조석의 진폭을 약화시킬 것이며, 이 때문에 침수 패턴이 달라졌을 가능성도 있다.

Table 2에 각 생태구역의 식생, 염분, 경사, 높이 특성을 요약하여 나타내었다. 조사지역 중 면적이 넓은 생태구역은 CLV와 NHB였는데, NHB는 자연형 하구 바다쪽에 발달한 갯벌이 포함되어 있었으며, CLV는 거산방조제 안쪽의 평평한 갈대밭을 포함하고 있다. 자연형과 폐쇄형 하구의 바깥쪽에 위치한 NHB와 CHB는 각각 평균 염분이 18.2과 21.5 ppt로서 조사 지역 중 가장 높았으며, 전반적으로 고도가 낮고 평평한 지형을 보이고 있다. CHB는 NHB와는 달리 갯벌이 발달되어 있지 않고 수심이 비교적 깊은(고도는 -39 cm) 수로를 포함하고 있다.

NLV와 CLV는 평균 염분이 9.1 ppt와 7.7 ppt로서 유사하였으나 NLV가 약간 높은 경향을 보였다. 서식지에 있어서는 절대서식 면적이거나 전체에서 갈대서식지가 차지하는 비율에서 CLV가 NHB보다 높은 값을 보였다(Table 2). CLV의 경우 기울기가 1도 내외로 평평한 지형을 보였으나, NLV는 16도로 경사가 급하였다. 높이에 있어서는 NLV는 평균해수면 위 1m로 높았으나, CLV는 -32 cm로 CHB와 거의 유사한 값을 가지고 있었다(Table 2). 두



**Table 2.** Area(m<sup>2</sup>) and proportions (%) among each ecological district, average salinity, gradient of bottom topography in each ecological district

DISTRICT	VEGETATED		TIDAL FLAT		AVG Salinity (psu)	River slope	Elevation (cm)
	Area (m <sup>2</sup> )	Area (%)	Area (m <sup>2</sup> )	Area (%)			
NFB					1.4	29°	326
NLV	9,300	5			9.1	16°	101
NHB			223,000	40	18.2	subtidal	35
CFB					0.2	66°	722
CFV	6,126	7			0.2	4°	-33
CLV	361,000	41			7.7	-1°	-32
CHB			6,000	1	21.5	subtidal	-39

지역이 모두 낮은 염분을 나타냈으나 그 원인은 서로 다를 수 있다. 즉 NLV가 비교적 높은 곳에 위치하여 해수의 영향이 적어졌고 이에 따라 평균염분이 낮아진 것에 비해, CLV의 경우는 거산방조제에 의해 해수의 영향이 줄어들어 고도는 낮으나, 평균염분이 낮아진 것임을 알 수 있다. 즉 기본적으로 CLV는 CHB와 같은 생태구역이나, 거산방조제에 의해 인위적으로 CHB로부터 단절되어, 변화된 환경으로 생각해 볼 수 있으며, 이 두 지역의 환경 및 생태계 차이를 통해 방조제가 하구생태계에 미치는 영향을 단적으로 볼 수 있다. NLV와 CLV 지역은 전체 면적에서 갈대가 서식하는 면적이 5-41%로 이들 지역이 갈대서식에 적당한 환경임을 알 수 있다. 두 지역은 염분 구조가 유사하여, 갈대 서식에 염분이 중요함을 확인할 수 있다(Chambers *et al.* 1998). 염분 이외에 침수 정도가 갈대 서식에 큰 영향을 끼치는 것으로 알려져 있으나 CLV와 NLV가 평균 높이가 크게 달라, 침수 보다는 염분이 크게 영향을 끼쳤을 것이라 여겨진다. 한편으로는, 두 지역은 거산방조제에 의해 조석의 영향을 받는 정도도 크게 다르기 때문에, 두 지역의 평균 높이 차이가 침수 정도의 차이를 설명하지는 못 할 수도 있다. 즉 두 지역이 평균 높이 차이가 큼에도 불구하고, 거산 방조제 때문에 침수 정도는 유사할 가능성도 있다. NFB와 CFB에는 자연형과 폐쇄형의 담수부분을 나타내며, 갈대서식지역이 나타나지 않고, 매우 큰 경사도를 보이며, 역질 퇴적물로 이루어져 전형적인 하천의 특성을 가지고 있다.

고성천의 경우 CFB와 CLV 사이에 CFV 지역이 나타나는데, 염분의 영향이 미치지 않는 지역에 비교적 넓게(전체 면적의 7%) 갈대 서식지가 나타나고 있다(Table 2). 경사도나 평균 높이 등을 고려해 볼 때, 이 지역은 CLV와 거의 유사한 환경 조건을 가지고 있으나 거산 방조제에서 멀리 떨어져 염분의 영향이 없는 곳으로 여겨진다. 이 지역에서는 본 조사기간 동안 염분을 측정하지 못했으나 좀 더 장기적인 조사에서는 염분이 측정될 가능성도 있으며 CLV에 편입될 가능성도 있다.

### 생태 구역과 하구 관리

이 연구에서는 비오톱, 즉 “다소간의 차이는 있지만 동일한 성격을 가지며, 이에 따라 주변공간들과 확실하게 구분할 수 있는 공간”을 통해 하구 생태계를 구분하는 기본 틀을 제시하였고 이를 고성천 하구 생태계에 적용하여 보았다(Olenin and Ducrottoy 2006). 이렇게 구분된 각 생태 구역은 특정 저서생물이나 갈대와 같은 염생식물 식생의 유무 등 경관적이고 구조적인 특징을 나타낼 수 있을 뿐만 아니라, 유기물의 생산, 저장, 분배, 생식, 퇴적상

의 변화 등 생태계의 기능적인 측면의 차이를 대변할 수 있다(Ducrottoy 2010). 이 때문에 생태구역이 하구관리에 유용하게 이용될 가능성이 높다.

고성천 인근에서는 자연형과 폐쇄형 하천에서 각각 3개와 4개의 생태구역이 나타나 전체 16개의 가능한 생태구역 중 7개의 생태 구역을 구분하였다. 향후에 다양한 환경조건과 크기를 가진 하구에 생태 구역을 적용하면 본 조사에서 나타난 각 생태구역의 상대적인 중요성은 달라질 수 있으며, 이 연구에서 정의한 16개 이외의 다른 생태 구역을 정의할 필요성도 있을 것이다. 예를 들면 낙동강 하구둑 안쪽의 넓은 사주에는 넓은 갈대 서식지가 나타나고 있으며, 낙동강 하구에서는 고성천에서 좁은 면적으로 나타난 CFV(closed, fresh, vegetated)의 중요성이 훨씬 커질 것이다(안 등 2007). 그러나 고성천에서 나타난 7개의 생태구역이 국내 다른 하구에서 나타나는 주요 생태구역일 가능성이 높다. 하구 생태계에 중요한 여러 환경 요소는 서로 맞물려 있어, 개념적으로는 가능하나 실제로는 나타나지 힘든 생태구역이 존재하기 다수 존재하기 때문이다. 예를 들면, 고성천 인근에서는 NHB와 CHB가 나타났으나, NHV나 CHV 처럼 염분이 높고 식생이 존재하는 생태 구역은 나타나지 않았다(Table 1). 염분이 높은 하구의 바닷쪽은 수심도 깊어져, 침수와 염분조건이 대형저서식물이 나타나지 힘든 환경으로 바뀌게 된다(Bart and Hartman 2003). 마찬가지로 Table 1에 제시된 NSV나 CSV는 나타나기 어려울 가능성이 있다. 반대로 현재 정의한 생태구역을 좀 더 세분화해야 할 필요성도 생길 수 있는데 예를 들면, 수로나 조하대 지역이 넓게 나타날 경우 이를 별도의 생태 구역으로 정의 하는 것이 필요할 수도 있을 것이다.

앞으로 국내의 여러 하구에 나타나는 생태구역을 조사하고 데이터베이스화 하여 각 생태구역의 출현 분포를 파악할 필요가 있다. 이러한 국내 생태 구역 현황은 향후 하구 생태계를 구분하고 관리하는 기본적인 틀을 제시할 것이다. 특히 하구둑 건설, 댐건설, 하천 정비 사업 등 인위적으로 하구생태계에 영향을 주는 요인과 지구 온난화, 해수면 상승 등 자연적으로 하구생태계에 압력요인이 특정 하구 지역 생태계를 어떻게 변화시킬 수 있는지를 예측할 수 있는 개념적 도구를 제공할 수 있다. 이 연구에서 고성천 CLV 지역은 거산방조제가 인근 하구 생태계를 어떻게 변화시켰나를 보여 주고 있다. 즉 구만천의 NHB나 고성천의 CHB등 염분이 비교적 높고, 수심이 깊은 수로나, 갯벌 지역이 하구둑에 의해 염분이 감소하고, 조석의 진폭이 줄어들면서, 침수가 줄어들게 되어 결국 갈대가 서식하기에 적합한 환경, 즉 CLV 로 바뀐 것으로

생각해 볼 수 있다. 이것이 사실이라면 하구둑이 존재하기 이전과 이후의 두드러진 변화는 고성천 하구 인근의 갈대 서식지의 증가이다. 갈대 서식지가 인근 생태계의 기능에 어떻게 영향을 끼칠 것인가에 대한 연구는 충분치는 않으나 일단 유기물 생산 증가, 부착 생물 증가, 피난처로서의 기능, 유기물 분해 증가 등의 생태계 서비스가 늘어날 가능성이 있다(허 등 2011). 반대로 갯벌에 서식하는 다양한 저서생물은 그 서식처를 잃은 결과가 될 수도 있다.

담수유입패턴 변화, 조석영향 변화 등으로 야기된 염분이나 퇴적상, 지형 변화로부터 전형적인 생태구역 변화가 예측되면 환경 변화로 인한 변화 양상을 쉽게 예측하고 관리/대응이 가능할 것이다. 생태구역 변화는 생태구조와 기능의 변화를 가져오며 결국 이러한 생태계의 역할 및 가치의 변화를 수반한다. 하구 생태구역 변화가 예측 가능하다면, 특정 하구의 특정개발 사업이 어떠한 생태계 서비스 혹은 가치 변화를 수반하는지 예측가능하며 결국 사업의 타당성에 기초를 제공할 수 있다.

이와 더불어 생태 구역은 여러 지역의 동일 생태구역간의 비교를 가능하게 하는데, 이를 기초로 특정 지역의 오염 정도를 평가하는 도구로 사용될 수도 있다. 유럽 WFD의 하구 유형 분류에서 살펴 본 바와 같이, 여러 연안 생태계의 오염에 대한 민감성이나 생태구조나 기능 등은 각 유형(typology) 마다 다르게 나타나며, 특정 지역이 얼마나 오염되었는가를 판단하는 것은 같은 유형을 비교할 때 의미가 있다(COAST 2002). 동일한 생태구역은 같은 식생과 물리적 특성을 가질 뿐만 아니라, 유사한 생태 구조, 기능을 가질 것으로 예상할 수 있으며, 수층 및 퇴적층 내 영양염 거동, 화합물질, 중금속 등 오염이나 부영양화 정도를 파악하는 물질 농도 특성도 유사할 것으로 기대할 수 있다. 따라서 같은 생태구역끼리의 비교를 통해 오염이나 인위적인 활동의 영향 정도를 좀 더 정확하게 살필 수 있을 것이다.

## 결 론

고성만 인근 4개 하천에서 하상경사와 조석 범위를 비교하여 얻어진 각 하천의 염분 침투 범위는 실제 측정된 각 계절별 평균 염분 분포와 잘 일치 하였다. 특히 자연형 하구에서 교각이나 보에 의해 염분침투가 제한된 경우 이들 인공구조물을 기준으로 염분 구조가 큰 차이를 보였다. 폐쇄형 하구인 고성천의 경우 거산 방조제 안쪽까지 해수의 침투가 일부 존재하였으며, 거산 방조제에 의해 조석 범위가 줄어들어 따라 예측된 염분 침투 범위와 실제 측정된 염분 분포는 약간의 차이를 보였다.

하구둑의 유무, 염분특성, 식생유무에 따라 정의한 16개의 생태구역 중, 고성천 인근 하구에는 7개의 생태 구역(NFB, NLV, NHB, CFB, CFV, CLV, CHB)이 구분되었다. 자연형과 폐쇄형 하구 모두 담수의 영향이 지배적인 상류지역(NFB와 CFB)에는 역질 퇴적물이 갈대의 서식을 방해할 것으로 예상되며, 염분이 높은 지역(NHB와 CHB)는 침수조건과 염분조건 때문에 갈대와 같은 대형 저서식물이 존재 하지 않았다.

NLV와 CLV는 평균 염분이 9.1 ppt와 7.7 ppt로서 유사하였으나 갈대 서식면적은 CLV가 높았으며, 경사도와 절대 고도에 있어서 큰 차이를 보여, CLV의 경우, 1 도 내외로 평평한 지형을 보였으나, NLV는 16도로 경사가 급하였다. 높이에 있어서도 NLV

는 평균해수면 위 1m 로 높았으나, CLV는 -32 cm로 CHB와 거의 유사한 값을 가지고 있었다. NLV는 고도가 높아 해수의 영향이 적어진 것임에 비해 CLV의 경우는 거산방조제 때문에 해수의 영향이 줄어들었다. 즉 NLV와 CLV가 염분은 유사하나 그 원인은 서로 달랐다. CLV는 CHB와 본래는 같은 생태구역이었으나, 거산방조제에 의해 인위적으로 CHB로부터 단절되어, 염분이 낮아져 갈대가 서식하기 좋은 환경으로 바뀐 것으로 추측된다.

고성천 CHB와 CLV 지역은 방조제가 하구 생태계에 미치는 영향을 잘 보여주고 있다. 염분이 비교적 높고, 수심이 깊은 수로나 갯벌이 존재하던 CHB 지역이 하구둑에 의해 고염분 지역과 단절되면서 염분이 감소하고, 조석의 영향이 줄어들면서 침수가 줄고, 결국 갈대가 서식하기에 적합한 환경으로 바뀌게 되며, CLV로 바뀐 것으로 여겨진다. 국내의 여러 하구에 나타나는 생태구역을 데이터베이스화하여 각 생태구역의 출현 분포를 파악하는 것이 필요하며, 이러한 자료는 인위적, 자연적 변화에 의한 하구 생태계 변동을 예측하고 관리/대응 방안을 마련하는데 이용될 것이다. 생태구역 변화는 생태구조와 기능의 변화를 가져오기 때문에 생태계 역할 및 가치의 변화를 수반하며, 생태 구역 변화를 야기하는 사업의 타당성을 판단하는 근거자료가 될 것이다.

## 사 사

더 좋은 논문이 되도록 좋은 의견을 주신 두 분 심사위원께 감사 드립니다. 실험과 현장조사에 도움을 준 부산대학교 지구환경시스템학부 이지영, 허낙원, 박준성, 정상훈, 이재익, 강성찬에게 감사 드립니다. 이 논문은 2009~2010년 국토해양부의 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행한 과제임(과제명: 하구생태계 요소 평가기술 및 복원).

## 참고문헌

- 안순모 등, 2007. 훼손된 하구 습지 복원. 차세대환경기술개발 사업 연차 보고서. 환경부.
- 안순모, 이상룡, 2009. 하구생태계 복원기술개발 연차보고서. 국토해양부. 53p.
- 안순모, 이재학, 우한준, 구본주, 이형곤, 유재원, 제종길, 2006b. 새만금 방조제공사로 인한 조하대 환경과 저서동물 군집 변화. *Ocean and Polar Research*. **28(4)**: 369-383.
- 안순모, 이지영, 정신재, 2006a. 낙동강 하구 갯벌에 생육하는 세모고랭이(*Schoenoplectus triquetus*)의 생체량 및 탄소, 질소 함량의 계절 변화. *한국습지학회지*. **8(3)**: 39-49.
- 지속가능발전위원회, 2006. 지속가능한 하구역 관리체계 구축방안 연구.
- 해양수산부, 2005. 해양환경공정시험법.
- 허낙원, 이지영, 최재웅, 안순모, 2011. 남해안 주요 하구 갯벌 퇴적물에서 탈질소화를 통한 질소 영양염 제거와 계절 변화. *한국해양학회지* 바다. In press.
- Bart, D., J.M. Hartman, 2003. Environmental determinants of *Phragmites australis* expansion in a New Jersey salt marsh: an experimental approach. *Oikos*. **89(1)**: 59-69.
- Borja, A., 2005. The Europeanwater framework directive: a challenge for nearshore, coastal and continental shelf research. *Con-*

- tinental Shelf Research **25**: 1768–783.
- Borja, A., Bricker, S.B., Dauer, D.M., Demetriades, N.T., Ferreira, J.G., Forbes, A.T., Hutchings, P., Jia, X., Kenchington, R., Marques, J.C., Zhu, C.B., 2008. Overview of integrative tools and methods in assessing ecological integrity in estuarine and coastal system-worldwide. *Marine Pollution Bulletin*, **56**: 1519–1537.
- Borja, A., Heinrich, H., 2005. Implementing the european water framework directive: the debate continues. *Marine Pollution Bulletin* **50**: 486–88.
- Borja, A., Pérez, V., Franco, J., 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin* **40**: 1100–114.
- Chambers, R.M. T.J. Mozdzer, J.C. Ambrose, 1998. Effects of salinity and sulfide on the distribution of *Phragmites australis* and *Spartina alterniflora* in a tidal saltmarsh. *Aquatic Botany*. **62**(3), 161–169.
- COAST, 2002, Guidance on typology, reference conditions and classification systems for transitional and coastal waters. <http://www/eutro.org>.
- Connor, D.W., 2004. The marine habitat classification for Britain and Ireland. Version 04. 05 JNCC, Peterborough (internet version). Available from: [www.jncc.gov.uk](http://www.jncc.gov.uk). Marine Habitat Classification.
- Ducrotoy, J.P., 2010. The use of biotopes in assessing the environmental quality of tidal estuaries in Europe. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. **86**(3): 317–321.
- Olenin, S., Ducrotoy, J.P., 2006. The concept of biotope in marine ecology and coastal management. *Marine Pollution Bulletin* **53**: 20–9.

---

2011년 4월 27일 원고접수

2011년 5월 18일 수정본 채택

담당편집위원: 강동진