

GIS를 활용한 하구의 습지추정 및 변화추이 분석에 관한 연구

노 백 호*⁺ / 이 창 회**

Using GIS to Estimate Estuarine Wetlands in Three Major Estuaries and to Quantify Wetland Changes over the Last Century

Paikho Rho*⁺ / Chang-Hee Lee**

요약 : 하구습지는 육지생태계와 해양생태계가 만나는 전이적 특성으로 인해 다른 생태계에 비해 겨울철새를 비롯한 많은 생물종이 도래·서식하고 있음에도 불구하고, 지금까지 하구습지에 대한 공간적 분포나 시간에 따른 하구습지 변동추이를 분석한 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 지리정보시스템을 이용하여 한강, 섬진강, 가화천의 하구습지를 파악하였으며, 이때 구한말 이후 일관되게 제작되는 국가기본지형도를 이용함으로써 표준화된 방법으로 하구습지의 시대별 변화추이를 분석하였다. 특히 1910년대 제작된 고지형도와 1970년대, 그리고 2000년대에 제작된 지형도를 획득하여, 하구 내 갯벌, 습지, 모래에 대한 공간분포와 하구별 하구습지의 훼손 실태를 파악하였다. 한강 및 영산강 하구와 같이 대하천 하구는 1910년대부터 1970년대까지 지속적으로 습지면적이 감소되었으나, 감소율은 크지 않았다. 그러나 1970년대 이후 하구둑 건설과 영산강유역종합개발계획 등 각종 개발사업이 이루어진 영산강의 하구습지는 급격히 감소하였으며, 한강 하구도 남북간장 완화와 접경지역 개발 지원에 따라 습지훼손이 심화되고 있다. 반면 하구둑이나 주변 개발사업으로부터 비교적 자유로운 가화천은 하구습지의 훼손이 낮은 상태인데, 아직도 1910년대와 비슷한 형태의 갯벌과 갯골을 간직하고 있다.

핵심용어 : 하구습지, 지리정보시스템, 지형도, 습지훼손

Abstract : Estuarine wetland, where freshwater meets saltwater, is a transitional ecosystem that is valuable ecologically for a variety of reasons, such as feeding and breeding sites for birds, fish, and wildlife. However, research on the spatial distribution and temporal dynamics of estuarine wetlands in Korea is rare. As a fundamental basis for wetland conservation, this study quantified the wetlands in three major estuaries, and evaluated the temporal dynamics of the wetlands since the 1910s. In particular, this study classified the wetland types into mud flat, sand, and emergent-plant types, and estimated the change of each wetland type, using topographic maps produced in the 1910s, 1970s, and 2000s. The wetlands in both the Han and Youngsan River estuaries have declined since the 1910s, but the rate of wetland decline was relatively low before the 1970s, compared to that since the 1970s. The impact of human activities, such as the Youngsan Watershed Comprehensive Development Project and the construction of estuary barrages, has disrupted the estuary cycles and destroyed huge amounts of wetland in the Youngsan estuary. By contrast, estuarine wetlands have been preserved in the small Gahwa estuary, and provide a variety of habitats for plants and wildlife. A special management strategy for wetlands should be established as soon as possible.

Keywords : Estuarine wetland, GIS, topographic map, wetland loss

1. 서 론

하구습지는 육상과 해양의 중간에 위치한 생산

성이 높은 전이 생태계로서 홍수나 태풍의 영향을 완화시키거나, 육상에서 유입되는 영양염의 형태를 변화시키고, 물을 저장하며, 야생 식물 및

+ Corresponding author : oikos@kei.re.kr

* 한국환경정책·평가연구원 책임연구원

** 명지대학교 환경생명공학과 교수

동물에게 산란 또는 서식공간으로 활용될 뿐 아니라 인간에게 교육, 연구 및 휴양가치를 제공하는 등 생태학적으로 중요한 역할을 담당하고 있다(Mitsch and Gosselink, 2000; Kent, 2001). 그러나 습지에 대한 이해부족으로 습지는 ‘버려진 땅’ 또는 ‘간척대상’으로 여겨져 많은 습지가 훼손되었다(Falconer and Goodwin, 1994). 우리나라는 최근 주 5일제 도입 및 소득수준 향상에 따라 수상위락활동이 증가하고 있으며, 수출에 의존한 산업구조 특성상 항만 및 산업단지 건설을 위한 매립간척사업 등 인위적 간섭이 늘어나고, 이에 따라 하구지역에 위치한 습지는 훼손 위협에 노출되어 있다(제종길 등, 1998; 이창희 등, 2004).

새만금 논쟁 이후 정책결정자 및 일반 국민들은 하구습지의 중요성을 인식하게 되었으며, 개발사업이나 매립에 따른 하구서식지의 파괴, 매립지의 고밀도 공간이용에 의한 해양환경의 오염을 방지하기 위해 하구습지를 보전하고 개선하기 위한 노력이 이루어지고 있다. 즉, 간척사업에 대한 새로운 평가로 인해 기존 간척계획을 취소하거나 신규 습지를 조성하기 위한 방안이 제시되는 등 하구습지를 보전하고 관리하기 위한 필요성이 점차 높아지고 있다(Lee and Lee, 2002; 제종길 등, 1998). 우리나라는 습지를 보전하기 위해 1997년 람사협약의 회원국으로 가입하였으며, 1999년 습지보전법을 제정하였다(환경부, 2003).

습지보전법의 제정에 따른 습지보전계획 수립 및 습지보호지역 설정 등 하구습지의 보전·관리를 위한 정책적 요구가 높아지고 있으나, 하구 습지의 공간적 분포현황 및 변화에 대한 연구가 부족한 상황이다. 지금까지 하구습지의 훼손에 영향을 미치는 외부요인에 대한 정성적인 분석은 이루어졌으나(이기철, 1997), 하구습지의 공간적 분포와 변화에 대한 정량적인 분석은 미흡하다(구자용, 2004; 정진순, 2004). 특히 습지보전법에 의해 환경부와 해양수산부에 의해 조사연구되고 있는 내륙습지와 연안습지를 동시에 포함하고 있는 하구지역은 습지에 대한 신뢰성있는 자료를 획득하기 더욱 어려운 실정이다. 즉 환경부에 의해 수행

되는 내륙습지조사와 해양수산부에 의해 수행되는 갯벌생태계조사가 각각 내륙지역과 해안지역의 특성에 적합한 조사지침에 따라 이루어지고 있어, 하구습지의 표준화된 정량적 분석을 수행하는데 미흡한 실정이다. 국가기본지형도에서는 내륙습지와 연안습지를 동시에 정량적으로 기록하고 있어, 하구와 같은 전이지역을 분석하는데 적합하다.

향후 인위적 활동 증가가 예상되는 하구지역에서는 습지의 공간분포 자료가 하구지역에 도래하는 겨울철새, 습지식물, 어류 등 생물 서식지 보전을 위한 기초자료로 중요함에도 불구하고, 그동안 하구습지가 얼마나 훼손되었는지 그리고 어느 곳에 얼마나 분포하고 있는지 체계적으로 조사되지 못하였다. 이에 본 연구에서는 한강, 영산강, 가화천 하구내 습지의 공간적 분포를 파악하며 더 나아가 지난 90여년 동안 하구지역의 습지가 어느 정도 훼손되었는지 파악하고자 국가기본지형도를 수집하여 공간적 분포와 시계열적 변화를 분석한다. 이를 통해 하구습지의 공간적 분포 및 증감 추이 분석을 활용하여 하구습지에 대한 보호·관리를 위한 정책방안을 수립하는데 유용하게 활용할 수 있을 것이다.

2. 연구대상 하구

하구습지의 현황 및 변화 분석은 하구특성이나 인위적 교란정도를 감안하여 한강, 영산강, 가화천 하구를 대상하구로 선정하였다. 한강 하구는 지정학적 위치로 인해 대하천 하구임에도 불구하고 자연 상태의 하구순환을 유지하고 있는 반면 영산강 하구는 하구둑 및 각종 개발사업으로 인한 인위적 교란이 높은 하구이다. 한편 가화천 하구는 상대적으로 소하천 하구이며 일부 지역에 제방 등이 건설되었으나 전체적으로 인공구조물의 비율이 낮고 상류 유역과 바다와 하구순환이 원활하게 이루어지고 있어, 우리나라 소하천 하구의 인위적 교란 이전의 특성을 살펴보는데 적합하다.

한강하구는 상대적으로 우수한 환경상태와 풍부한 역사·문화 유산을 보유하고 있으며, 비무장지

대(DMZ)의 일부로 국제적인 관심도 높음에도 불구하고, 최근 남북 교류에 따른 긴장완화와 접경 지역 개발지원에 따라 자연적인 하구환경이 위협받고 있다. 버드나무 군락지 등 생물다양성이 높은 장항습지를 비롯하여 산남습지, 시암리습지, 그리고 저어새의 번식지로 이용되는 유도 등이 한강하구 습지보호지역으로 지정되었으나, 군사시설 보호구역에서 한강하구 지역을 제외하기 위한 논의가 진행되면서 개발 압력이 점증하고 있다. 특히 김포 및 파주 신도시 건설을 포함하여 현재 추진되고 있는 남북간의 육로(철도 및 도로) 연결, 개성공단의 건설은 남북간의 인적·물적 교류를 더욱 촉진시키는 계기가 될 것이고, 이에 따른 한강하구역 개발은 불가피한 실정이다. 그러나 한강하구는 군사적인 이유로 접근이 제한되어 있어 하구습지에 대한 현황 파악이 부족하여, 향후 하구역 개발에 있어 생태적으로 중요한 지역에 대한 기초 자료를 확보하기 곤란하다. 따라서 본 연구를 통해 한강하구의 하구습지에 대한 정량적인 분석을 통해 하구습지의 공간적 분포 및 훼손추이를 파악하고자 한다.

영산강하구는 1982년 건설된 하구둑에 의해 하구순환이 단절되었으며, 하구둑 상류는 농업 등 저밀도 토지이용이 이루어지고 있는 반면 바다 쪽은 목포항 및 대불공단 등 주요 산업단지가 위치하고 있어 고밀도 토지이용이 이루어졌다. 그러나 최근 전남도청이 하구둑 상류부에 위치한 남악신도시로 이전하면서 하구둑 상류부에 대한 개발압력도 증가되고 있다. 하구둑 건설 이후 수질은 5

등급 이하로 농업용수로 사용하기에도 어려운 실정이고, 기러기와 가창오리의 도래 개체수는 증가되었으나 물떼새 및 도요새 등 갯벌 등을 선호하는 조류가 줄어들어 종 다양성은 크게 떨어진 상태이다. 특히 영산강유역종합개발사업으로 인해 하구습지를 매립함으로써 생태적으로 중요한 서식지가 훼손되었다.

가화천하구는 규모는 작지만 남강댐의 인공방류 수로 역할을 하고 있으며, 주변 유역은 산지와 농지가 대부분으로 저밀도 토지이용이 이루어지고 있어 환경오염부하는 한강이나 영산강에 비해 상대적으로 적은 편이다. 그러나 가화천하구의 하류부에 위치한 사천만의 하구갯벌을 매립하여 대단위 공단을 조성하고 있으며, 주변 산림지역 등 서식환경도 악화되고 있다. 특히 사천만을 중심으로 진사지방첨단산업단지 등 공단조성 및 해안도로 확충을 위한 하구습지의 매립을 추진하고 있으나, 가화천하구역의 하구습지에 대한 정량화된 분석은 미흡한 실정이다.

3. 재료 및 방법

3.1 자료 수집

본 연구에서는 하구습지의 현황을 정량적으로 파악하기 위해 1910년대, 1970년대, 2000년대 지형도를 획득하였으며, 지리정보시스템을 활용하여 하구습지 GIS-DB를 구축하였다. 지형도를 통한 하구습지의 파악은 현장 접근이 어렵거나 과거 습지분포를 추적하여 하구습지에 대한 변화추이를



Han (Jang-hang Wetland)

Youngsan (Estuary Barrage)

Gahwa (Jinsa Complex Site)

Fig. 1. Current status of the Han, Youngsan, and Gahwa estuaries

Table 1. National topographic maps used in generating estuarine wetland GIS database in the three estuaries of Korea

	Maps in the 1910s	Maps in the 1970s	Maps in the 2000s
Years generated	1914-1918	1975-1977	2002-2003
Scale	1:50,000	1:25,000	1:25,000
Han River estuary	13 quad. maps	35 quad. maps	35 quad. maps
Youngsan River estuary	8 quad. maps	16 quad. maps	16 quad. maps
Gahwa River estuary	4 quad. maps	9 quad. maps	9 quad. maps

일관되게 분석하는데 적합하다. 하구습지는 지형도 도식적용규정에 의거하여 일제시대의 고지형도 제작에서부터 현재까지 일관되게 사용하는 갯벌, 모래, 습지로 구분하였다. 고지형도 부호에 따르면, 하구습지는 크게 니지(갯벌), 사지(모래), 습지 등으로 구분되었으며(양태진, 1998), 현 국가기본지형도에서는 펠(갯벌), 모래, 습지로 명칭이 변경되었다(국토지리정보원, 2006).

3.2 하구습지 DB 구축 및 공간분석

조선총독부 임시토지조사국에서 1910년대 제작한 지형도와 건설부 국립지리원에 의해 1970년대 제작한 지형도는 모두 종이지도 형태로 획득하였다. 2000년대 지형도의 경우 대부분 수치화되어 수치지형도 형태로 제공되고 있으나, 일부 지역의 경우 최근에 수정된 종이지도를 GIS-DB로 구축하지 못하고 있다. 이에 본 연구에서는 일관된 비교 분석을 위해 2000년대 지형도를 수집하는데 있어 가장 최근에 발간한 종이지도를 구입하여 GIS-DB로 도면화 하였다.

하구습지 GIS-DB 구축은 스캐닝, 얼룩제거 등 래스터 편집, 벡터라이징, 벡터편집 등으로 이루어진다. 스캐닝을 위해 3개 대상하구의 관련 도면을 수집하고, 색인작업을 통해 관련 지도자료에 대한 내용을 검토하였으며, 지형도와 함께 참고자료로 수치표고모델(DEM), 항공사진, 과거 문서자료 등을 획득하였다. 지형도는 도엽별로 해상도 400dpi 이상으로 반자동독취하였으며, 독취한 파일(TIFF 포맷)과 도곽 좌표와의 차이가 도상 0.2

mm 이상일 경우 재독취하였다. 스캐닝한 자료는 영상처리 소프트웨어를 이용하여 잡음(noise)을 제거하고 지형을 보정하였다. 래스터 파일에 대한 편집을 완료한 다음, 벡터라이징을 통해 래스터 포맷을 벡터 포맷으로 변환하였으며, 벡터자료는 갯벌, 모래, 습지, 하천, 해안선, 행정구역 경계로 구성하였다. 벡터화된 자료는 하구역별로 집합하였으며, 이때 인접부분에 대한 차이를 수정하고 특히 하구습지(갯벌, 모래, 습지)에 대한 구조화 작업을 실시하였다.

하구습지의 분포현황에 대한 GIS-DB의 신뢰성을 높이기 위해 환경부에 의해 제작된 토지피복지도(중분류), LANDSAT ETM 위성영상 및 해양수산부 갯벌자료를 참고자료로 활용하였다. 독취 파일에 대한 잡음 제거 등 래스터 편집 및 영상 처리는 Adobe Photoshop를 사용하였으며, 시기별 하구습지의 공간분포 및 습지유형별 변화추이에 대한 정량적 분석을 위해서는 ArcView GIS 소프트웨어 및 Spatial Analyst Extension을 이용하였다.

3.3 분석방법의 정확도 및 한계

하구습지 정량화는 크게 1) 고해상도 위성영상이나 항공사진을 이용하여 하구습지를 획득하는 방법, 2) 삼각측량 등 현지조사를 통해 하구습지의 면적을 파악하는 방법, 3) 지형도, 토양도 등을 이용하여 하구경계를 측정하는 방법을 제시할 수 있다. 첫 번째 원격탐사 기법에 의한 하구습지의 측정은 위성영상 기술의 발달에 따라 점차 활

용도가 높아지고 있으나, 영상으로부터 습지를 식별할 수 있는 기술인력의 부족 및 과거자료와 현재 수집하는 위성영상 자료간의 해상도 차이로 인해 표준화된 비교를 실시하는데 어려움이 있다. 두 번째 현지조사에 의한 방법은 지역 특성을 반영하고 작은 변화에 대해서도 쉽게 파악할 수 있다는 장점을 갖고 있음에도 만조와 간조시에 발생하는 하구습지의 면적 차이 및 전국에 걸쳐 획득하는데 오랜 시간과 비용이 필요하다는 한계를 안고 있다. 한편 세 번째 지형도, 토양도 등 참고자료를 이용하는 방법은 습지에 대한 지도제작자 간의 차이로 인해 습지분포 및 변화량을 산출하는데 어려움이 있으나, 적은 비용으로 전국에 걸쳐 습지면적을 추정할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 특히 지형도의 경우 전국에 걸쳐 표준화된 방법으로 오랫동안 도면을 제작하였을 뿐만 아니라 일제시대 등 과거에도 유사한 지도제작법에 의거하여 지형도를 제작하였기 때문에 하구습지의 변화량을 산출평가하는데 적합하다.

지형도와 같은 벡터형 자료를 전산화하여 하구습지의 면적을 파악하는데 있어, 분석방법의 정확도는 크게 두 가지 즉 위치정확도와 속성정확도로 구분할 수 있다. 본 연구에서 위치정확도는 허용오차의 적정성, 자동독취 해상도, 위치 좌표값의 정확성, 기준점의 정확성, 원도와의 일치성, 투영방법의 적절성을 토대로 검사하였으며, 속성정확

도는 2000년대 지형도를 이용하여 구분된 하구습지를 대상으로 100개 지점을 무작위로 선정하여 하구습지의 속성값이 일치하는지 파악하였다. 이를 통해 지형도의 위치와 속성 정확도를 파악하였다. 그러나 과거의 자료 즉 1910년대와 1970년대 하구습지에 대한 현지조사 자료는 획득하기 곤란하기 때문에 과거자료에 대한 정확도를 측정할 수 없었다. 다만, 2000년대 자료를 통해 획득한 지형도 제작의 정확성을 통해, 과거 1910년대 및 1970년대 지형도에 의한 하구습지 GIS-DB 자료의 정확도를 간접적으로 평가할 수 있다.

지형도에 의한 하구습지 GIS-DB의 속성 정확도는 한강, 영산강, 가화천에 대해 각각 100개 지점을 무작위로 선정하여 토지피복지도에 의해 속성값의 일치여부를 판단하였다. 한강의 경우 8개의 습지를 포함하여 무작위로 추출한 100개 지점을 대상으로 정확도 여부를 검증하였다. 지형도에 의해 습지로 구분한 8개 지점 가운데 토지피복지도에 습지로 구분된 지점은 6개로 사용자정확도 (User's accuracy)가 75%이고, 토지피복지도에 의해 습지로 판단된 9개 지점 가운데 6개 지점만이 지형도에 의해 습지로 식별되어 생산자정확도 (Producer's accuracy)는 66%를 나타내었다. 한강, 영산강, 가화천 하구의 정확도는 각각 95%, 94% 및 92%로 상당히 높은 속성 정확도를 보이고 있다.

Table 2. Accuracy assessment for wetland classification created by topographical maps

Landuse/landcover classes		Topographical map classes			Producer's Accuracy	User's Accuracy	Overall Accuracy
		wetland	other	total			
Han Estuary	wetland	6	3	9	66%	75%	95%
	other	2	89	91	97%	97%	
	total	8	92	100	-	-	
Youngsan Estuary	wetland	4	4	8	50%	66%	94%
	other	2	90	92	98%	96%	
	total	6	94	100	-	-	
Gahwa Estuary	wetland	4	7	11	36%	80%	92%
	other	1	88	89	99%	92%	
	total	5	95	100	-	-	
Total	wetland	14	14	28	50%	73%	94%
	other	5	267	272	98%	95%	
	total	19	281	300	-	-	

4. 연구결과 및 고찰

4.1 한강 하구의 습지

한강 하구는 우리나라의 4대강 가운데 유일하게 하구둑으로 단절되지 않은 자연 상태의 기수역으로 강화 앞바다에서 김포, 파주, 고양까지 막히지 않은 강줄기로 이어져 거대한 기수역을 형성하고 있다(이창희 등, 2003). 특히 한강 하구의 기수역은 황해와 한강, 임진강을 이동하는 회유성 어류, 갑각류들의 중요한 서식지로 생태적 가치를 높은 지역이다. 하지만 세계 유일의 분단국가로서 접경지역에 위치하여 동서로 기나긴 철책으로 갈라져 있고 한강하구에 이르러 강줄기를 기준으로 남과 북으로 구분되었다. 이에 따라 한강 하구의 기수역 생태계는 인간교란에서 안전하게 보호되고 있어 독특한 습지 생태계를 형성하고 있다. 이러한 환경 아래 황해와 만나는 강화도 남북단 해안에 갯벌이 발달되어 있으며, 인천의 영종도와 송도, 시흥, 안산, 화성을 연결하는 경기만 습지로 인해 서해 연안습지의 주요 생태축으로 지정학적 중요성이 높다(제종길 등, 1998). 특히, 강화도 주변에 집중되어 있는 한강 하구의 갯벌은 전형적인 하구갯벌로서 국내에 현존하는 하구 중에서 가장 자연성이 높으며, 대단위 저서동물 군집 및 철새 도래지로서, 다양한 소규모 생태계가 존재하고 있

어 생물다양성이 높게 나타난다(유재원, 1998).

한강하구는 일제시대인 1910년대 및 개발사업이 본격적으로 추진되기 전인 1970년대까지는 한강하류부를 중심으로 갯벌의 구성이 높은 것으로 나타났으며, 한강과 임진강이 만나는 지점과 임진강 본류 그리고 한강본류를 따라 모래톱이 넓게 형성된 것을 파악할 수 있다. 일제시대인 1910년대에는 하구역의 7.13%인 31,440ha가 하구습지로 이루어졌으나, 1970년대 28,920ha로 완만하게 감소되었다. 특히 개발사업이 본격화되기 시작한 1970년대 이후 하구습지의 감소폭이 크게 높아졌는데, 1970년대 하구역의 6.56%에 이르던 하구습지는 2000년대 이르러서는 3.94%에 불과한 17,347ha만이 남아있는 형편이다. 특히 하구갯벌과 모래질의 구성비율이 크게 감소하였는데, 하구갯벌은 1970년대 25,644ha에서 2000년대 16,441ha로 감소하였고, 모래질은 2,872ha에서 234ha로 줄어 들었다.

생태학적으로 보호가치가 높은 한강하구 습지의 감소 원인으로는 1982년부터 시작된 한강종합개발사업과 최근 수도권 주변의 택지개발을 제시할 수 있다. 개발사업에 따른 공사비를 충당하기 위해 한강에서 막대한 규모의 모래를 채취하였으며, 한강변의 고수부지 및 수변공원 조성으로 인해 한강 하구의 모래톱이 큰 폭으로 감소되었다. 또한 신곡수중보 건설 등 하구순환을 왜곡함에 따

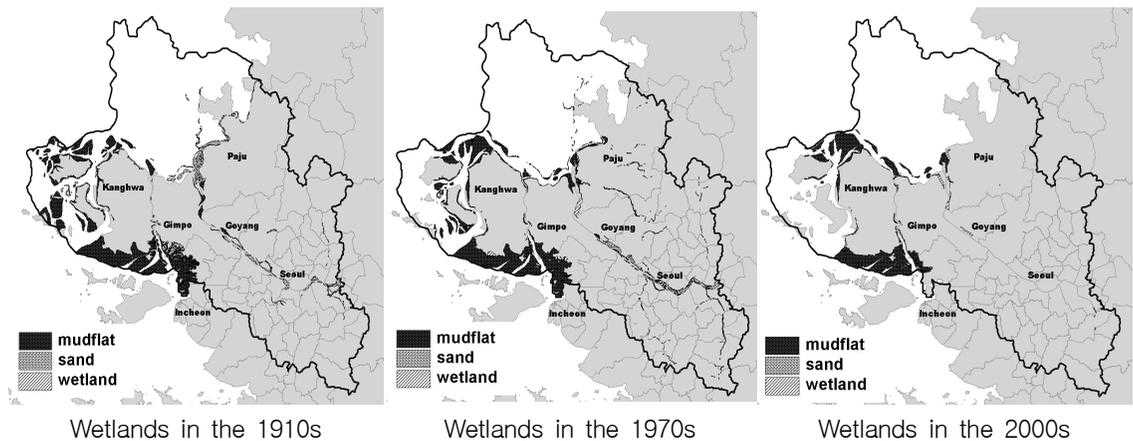


Fig. 2. Wetland distribution over the 1910s through 2000s in Han River Estuary

Table 3. Wetland change of each wetland type in the Han, Youngsan, and Gahwa River estuaries over the 1910s through the 2000s

Estuary	Total Area (ha)	Type	Wetland Area (% Wetland)		
			1910s	1970s	2000s
Han River	440,723	Mudflat	25,894 (5.87)	25,044 (5.68)	16,441 (3.73)
		Sand	5,546 (1.26)	2,872 (0.65)	234 (0.05)
		Wetland	0 (0.00)	1,005 (0.23)	672 (0.15)
		Sub Total	31,440 (7.13)	28,920 (6.56)	17,347 (3.94)
Youngsan River	152,800	Mudflat	30,893 (20.22)	25,612 (16.76)	1,421 (0.93)
		Sand	48 (0.03)	122 (0.08)	10 (0.01)
		Wetland	0 (0.00)	1,192 (0.78)	98 (0.06)
		Sub Total	30,940 (20.25)	26,926 (17.62)	1,530 (1.00)
Gahwa River	19,898	Mudflat	1,097 (5.51)	1,178 (5.92)	1,093 (5.49)
		Sand	310 (1.56)	48 (0.24)	44 (0.22)
		Wetland	14 (0.07)	61 (0.31)	50 (0.25)
		Sub Total	1,422 (7.14)	1,287 (6.47)	1,186 (5.96)

라 제주초도 등 보호가치가 높은 생물서식지가 소멸되었으며, 강화도 및 석모도 지역을 중심으로 이루어진 각종 매립간척사업에 따라 하구갯벌이 크게 감소하였다. 특히 염전사업이나 농지확장, 송도신도시 등 각종 개발사업이 연안지역에 집중되면서 하구갯벌의 훼손은 더욱 높아지고 있다.

4.2 영산강 하구의 습지

영산강 하구는 1982년에 건설된 하구둑에 의해 하구순환이 단절되었으며, 하구둑 건설 전에는 하구에서 39km 상류에 위치한 영산포 지역까지 염수의 영향을 받으며 넓은 면적에 걸쳐 기수 생태계를 형성한 것으로 기록되어 있다. 국내 최대의 영산강 하구둑은 8개의 배수갑문이 설치되었으며, 하구둑 위에는 6차선 도로가 건설되어 목포와 영암을 육로로 연결하고 있다. 영산강 하구둑과 직각선을 이루며 삼호읍 용당리에 이르는 길이 4,280m의 대불방조제가 완공됨으로써 810ha의 하구습지가 농경지로 개간되었다. 이로 인해 하구둑 주변에 위치한 많은 습지가 상실되었으며, 생물서식지 및 회유성 어족자원이 급감하였다. 방조제 건설은 필연적으로 인접한 해안의 조류와 연안

류의 유속을 감소시키며, 이로 인해 퇴적현상이 변하고 오염물질이 바다로 이동되지 못하여 수질이 악화된다(이창희 등, 2003). 즉 방조제 건설로 인해 육역과 해역의 완충지이자 오염물질의 자정 역할을 담당하는 하구습지가 파괴된 것으로 판단된다.

하구습지의 변화추이를 분석한 결과, 영산강하구도 한강하구와 마찬가지로 1910-1970년대에는 하구습지의 감소가 완만한 것으로 나타났으나, 개발압력이 증가된 1970년대 이후 크게 감소된 것으로 밝혀졌다(Fig. 2). 하구둑 건설과 함께 농지조성을 위한 대단위 매립간척사업으로 인해 영산강 하구는 하구습지의 훼손을 명확하게 보여주고 있다. 일제시대인 1910년대에는 309km²로 영산강하구의 약 20%가 습지였으나, 1970년대 17% 가량으로 감소되었다. 특히 1972년부터 시작한 영산강유역종합개발계획에 의해 삼호지구, 금호지구, 영암지구 등 농지조성사업에 따라 하구습지가 훼손되었는데, 1970년대 269km²이던 하구습지는 2000년대로 접어들면서 73km²로 급감하여, 20%에 이르던 하구습지는 현재 영산강 하구의 1%에 불과한 실정이다.

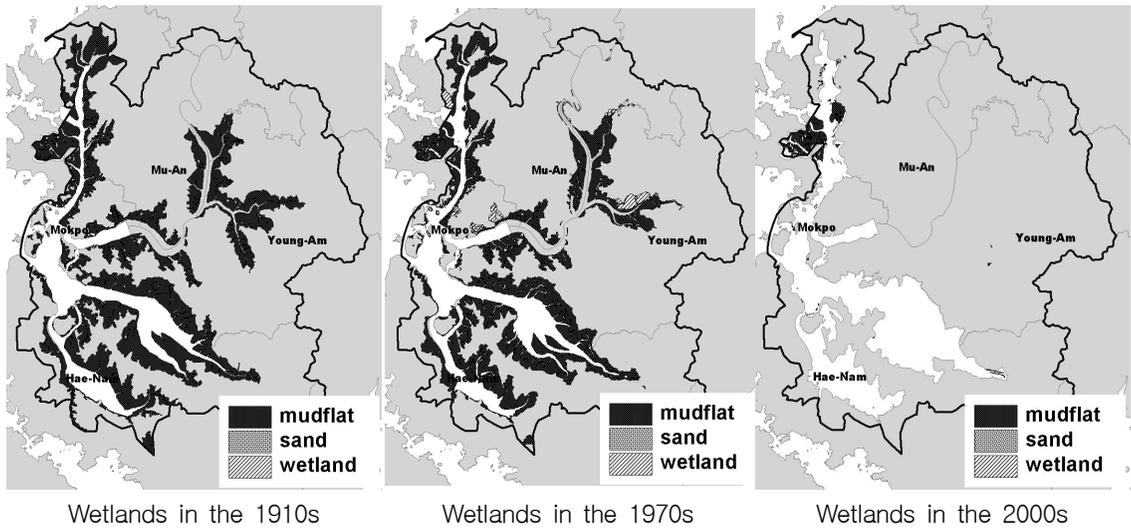


Fig. 3. Wetland distribution over the 1910s through 2000s in Youngsan River Estuary

무안지역과 신안군 압해면 대미도를 중심으로 한 갯벌은 영산강 하구에 남아 있는 최대의 하구 습지로서 영산강 하구습지의 원형을 복원하기 위해 체계적인 보전방안을 마련하여야 한다. 그러나 전라남도 도청이 남악신도시로 이전하면서 도서지역을 연결한 관광위락 시설의 건설, 택지개발 및 산업단지 건설 등 개발압력이 높아지고 있어, 얼마 남지 않은 하구 갯벌도 훼손될 위협에 놓여있다. 따라서 기존의 하구습지를 복원하며 현재 남아있는 하구갯벌을 보전하기 위해서는 1910년 또는 1970년대 지형도를 이용한 과거의 하구습지 원형을 찾기 위해 노력하여야 한다.

4.3 가화천 하구의 습지

가화천 하구는 길호강, 죽천천 등이 유입되는 사천만을 중심으로 다양한 하구환경 아래 퇴적지형이 발달되어 있다. 광포만과 연결된 가화천 하구는 지형적으로 리아스식 해안특성을 나타내며, 모래 해안과 갯벌 등이 발달되어 있다. 가화천의 경우, 일제시대 곤양천에서 유입되는 퇴적물에 의해 광포만 지역에 형성되었던 사구 등 모래습지가 지난 90여년 동안 간척사업 등에 의해 농경지로 전환되었을 뿐, 대부분의 가화천 하구습지는 다른

하구와는 달리 상대적으로 1910년대와 비슷한 형태의 갯벌과 갯골을 간직하고 있다. 특히 사천만 동안지역은 해발고도가 낮으며 자연형 해안선을 유지하고 있어 하구습지의 구조와 형성과정을 이해하는데 활용할 수 있다.

하구습지의 공간적 분포와 시계열 분석을 실시한 결과, 한강하구나 영산강하구에 비해 가화천하구는 하구습지를 잘 보전하고 있는 것으로 나타났다. 특히 1970년대 이후 대부분 지역에서 하구습지가 감소하였음에도 가화천하구는 안정적인 하구습지를 유지하고 있는데, 1910년대 1,422ha이던 하구습지가 1970년대 1,287ha, 그리고 2000년대 1,186ha를 보유하고 있다. 이는 지금까지 가화천하구를 둘러싼 주변구역이 대부분 농지 또는 산지로 구성된 저밀도 토지이용으로 인해 하구습지에 대한 오염부하량이 적었을 뿐만 아니라 해역에서 이루어지는 매립이나 간척 등 개발사업이 실시되지 않았기 때문이다. 생물다양성의 보고인 하구갯벌의 경우, 지난 90여년 동안 가화천에서는 단지 4ha만이 소멸되었을 뿐 대부분의 하구갯벌을 간직하고 있다. 이는 자연해안선의 구성비율이 높고 인공제방의 비율이 낮게 나타나는 등 해역에서의 개발압력이 낮았기 때문이다.

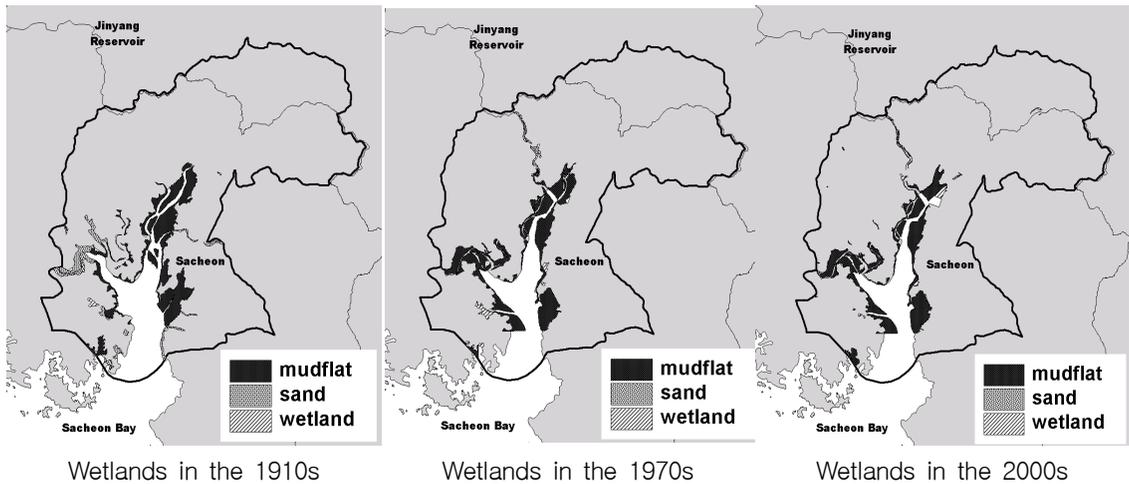


Fig. 4. Wetland distribution over the 1910s through 2000s in Gahwa River Estuary

조석이 우세하고 지형적 요인으로 인해 해안선의 굴곡이 심한 가화천하구는 연안습지가 발달해 있으며, 전반적으로 유역의 개발압력이 낮고 저밀도 토지이용이 이루어지고 있으나 점차 연안해역을 중심으로 개발압력이 집중되는 경향이 나타나고 있다. 그동안 개발압력에서 벗어나 있던 가화천 하구에도 연안해역의 매립과 산업단지 조성이 진행되고 있어, 현재와 같은 추세라면 하구습지가 훼손될 것으로 예상된다. 하구습지 훼손은 연안개발 뿐만 아니라 무분별한 어항건설, 연안정비사업, 해역복원사업 등에 의해서도 이루어지고 있다. 최근 사천대교의 건설과 함께 지역주민들의 관광위락 시설에 대한 개발욕구가 증가되고 있으나, 하구습지에 대한 상세한 조사연구자료가 부족한 실정이다.

5. 결 론

본 연구는 습지보전법에 따라 기계적으로 이분화된 내륙습지와 연안습지의 전이지역에 위치한 하구습지에 대한 공간적 분포와 지난 90여년 동안의 변동추이를 살펴봄으로써, 다양한 생물종을 보유하고 있는 하구습지를 체계적으로 보전·복원하기 위한 기초자료를 구축하기 위해 방법론을 제

시하기 위해 실시되었다. 습지정책 수립의 기초가 되는 습지의 현황 및 공간적 분포를 파악하기 위해 환경부에서는 전국 내륙습지조사(2000-2010)를 실시하고 있으며, 해양수산부에서는 갯벌생태계조사(1999-2004)를 실시하였다(해양수산부, 2003). 조사결과를 활용하여, 생태적으로 우수한 습지를 파악하고, 습지보호지역을 지정하는 등 보전·관리방안을 수립하고 있다. 그러나 하구습지는 육상과 해양의 전이지대로써 겨울철새의 도래식공간으로 활용되는 등 생태적 중요성이 높음에도 불구하고 환경부와 해양수산부에 의해 내륙습지와 연안습지로 이원화됨에 따라 관리의 사각지대에 놓여 있다(공경자, 2002). 즉, 전국 내륙습지 조사와 갯벌생태계조사에 의해 이루어진 조사결과는 각각 별도의 조사체계에 따라 이루어짐으로써 하구습지를 통합적으로 관리하기 어려운 실정이다. 이에 따라 하구역을 중심으로 많은 생태계 보호구역이 지정되어 있는 미국 등 외국과는 달리 우리나라의 경우 한강, 낙동강 등 극히 일부 하구습지에 대해서만 보호구역으로 지정·관리하고 있다. 본 연구를 통해 우리나라의 대표적인 하구를 선정하여 지난 90여년 동안 하구습지의 공간적 분포 및 장기 변동추이를 살펴봄으로써 하구습지를 통합적으로 파악하기 위한 과학적 토대를 마련

하고자 하였다.

분석 결과, 우리나라는 지난 90여년 동안 하구 습지가 크게 훼손되었으며, 특히 내륙 습지는 농경지 개간 등을 포함한 다양한 형태의 개발행위로 인해 오랜 세월동안 훼손된 것으로 판단된다. 하지만 무엇보다도 중요한 것은 현재의 시점에서 습지의 공간분포에 대한 정확한 조사를 토대로 더 이상 습지가 훼손되지 않도록 하는 정책, 제도적 지원이 필요하다는 점을 인식하게 되었다(김귀곤, 2003). 이를 위해 지형도를 이용하여 현재와 과거의 습지분포를 파악하고, 이를 통해 하구 습지의 훼손실태를 정량적으로 측정할 수 있다. 과학적 방법으로 측정된 하구습지 분포 및 시계열 분석자료를 이용하여 하구습지를 보호하고 훼손된 하구습지를 복원하기 위한 정책방안을 수립할 수 있다.

일반적으로 습지가 훼손되는 원인은 크게 자연적인 원인과 인공적인 원인으로 구분할 수 있다. 자연적인 원인으로서는 해안침식 및 해수의 침입, 습지에 서식하는 식생의 손실 및 훼손, 외래식물의 침입, 습지에 대한 무관심을 들 수 있으며 인공적인 원인으로서는 제방의 축조, 수로의 변경, 도로의 개발 같은 개발행위와 인구증가, 농업, 관광 및 상업행위와 같은 습지에서 이루어지는 인위적 활동을 제시할 수 있다(정진순, 2004). 특히, 하구 습지는 매립·간척 등 인위적 원인에 의한 크게 감소되었다(Koh, 1997; Doornbos et al., 1986). 하구습지는 육역과 해역 사이에 위치한 완충지역으로 육상생물과 해양생물이 공존하는 생물다양성이 높은 지역이다. 본 연구에서 지리정보시스템을 이용하여 지난 1910년부터 2000년대까지의 하구 습지 변화유형을 살펴본 결과, 항만건설 등 개발사업 및 무분별한 간척·매립으로 인해 하구습지가 크게 감소되었으며, 하구습지의 보호·관리를 위한 법률이나 제도적 수단이 미흡한 것으로 나타났다. 이에 따라 본 연구에서는 분석결과를 토대로 하구 습지의 보호와 현명한 이용을 위한 관리방안을 다음과 같이 제시하고자 한다.

첫째, 하구습지에 대한 통합조사방안을 마련하

여야 한다. 하구습지의 면적을 정확히 산출하며 주기적으로 모니터링하는 것은 하구습지의 보전 및 관리에 있어 필수적인 기초 자료임에도 불구하고, 지금까지 하구습지는 환경부 및 해양수산부에 의해 별도로 조사됨에 따라, 조사내용 및 지역에 있어 중복 또는 누락이 발생되고, 조사결과를 상호공유하지 못함으로써 하구습지의 통합적 관리에 효과적으로 활용하지 못하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 육역과 해역을 총괄하며 시계열 변화를 파악하는데 적절한 지형도를 이용하여 하구습지의 위치 및 면적을 파악하였다. 그러나 수치지형도의 제작 목적이 전국에 걸친 지형·지물을 도면화하는 것으로 구체적인 습지경계 및 습지유형 분류에 있어 오류가 많은 상황이다. 따라서 환경부와 해양수산부간의 협의를 통해 하구습지에 대한 조사시기, 방법 등 조사체계에 대한 통합적 조사방안을 확립하여야 할 것이다.

둘째, 하구습지에 대한 관리역량을 높이기 위한 지식기반을 강화해야 한다. 연구대상 3개 하구에 위치한 습지는 지리적 위치, 생물학적·물리적 특성, 해당 지역의 사회·경제적 여건 및 주민의 요구사항에 있어 상이한 형태로 나타내고 있으며, 이를 토대로 관리방안을 제시하기 위해서는 습지 유형 구분, 습지유형별 생물종 분포 등 생태계 특성파악, 습지에 대한 생태적 가치평가 등 하구습지 관리를 위한 연구활동이 이루어져야 한다. 예를 들어, 한강 하구에서는 지리적 위치 등을 토대로 하구습지의 유형을 펼갯벌, 모래사구, 염습지로 세분화하는 등 하구습지의 유형별로 관리방안을 제시하여야 한다.

마지막으로 지역특성을 반영한 하구습지 관리방안을 수립해야 한다. 연구대상 3개 하구의 습지 현황 및 변화를 분석한 결과 각각 상이한 결과를 나타내고 있다. 한강 하구역의 경우, 1910년대부터 1970년대에 비해 최근 20여년 동안 각종 개발사업으로 인해 하구습지의 감소율이 크게 높아졌다. 다만 인위적인 출입이 통제된 비무장지대 등 남아 있는 일부 하구습지는 멸종위기종 등 국제적 희귀조류의 서식·도래지로 이용되고 있어, 이

들 습지를 보호할 수 있는 방안이 시급히 마련되어야 한다. 1910년대 하구역의 약 20%이상이 갯벌, 습지 등으로 건강한 생태계를 유지하였던 영산강 하구습지는 지난 90여년 동안 특히 영산강 하구둑 건설 등 영산강유역종합개발사업이 실시된 1970년대 이후 급격히 훼손되었다. 현재 무안지역에 남아있는 하구갯벌을 원형습지로 보전하며, 훼손된 습지를 복원하기 위한 방안이 마련되어야 할 것이다. 가화천 하구의 경우, 한강이나 영산강 하구와는 달리 지난 90여년 동안 습지 감소가 낮은 것으로 밝혀졌는데, 특히 하구갯벌은 하구의 생태적 가치를 높여주고 있어 보전 및 현명한 이용을 위한 체계적인 조사연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 경제인문사회연구회 협동연구과제인 “지속가능한 하구역 관리방안”의 일환으로 한국환경정책·평가연구원의 행정적·재정적 지원으로 이루어졌다. 또한 자료수집 및 정리에 도움을 준 한국환경정책·평가연구원의 강수진 연구원에게 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

공경자 (2002). 습지보전법의 개정 방안의 연구, 해양정책연구, 제17권, 제2호, pp. 1-27
 구자용 (2004). 해안습지 지도화를 위한 위성영상 처리기법 연구, 상명대학교 사회과학연구, 제 18호(별책본), pp. 1-17
 국토지리정보원 (2006). 1/25,000 지형도 도식적 용규정.
 김귀곤 (2003). 습지와 환경, 아카데미서적.
 양태진 (1998). 근세 한국 오만분지일 지형도, 경인문화사,
 유재원 (1998). 서해중부 갯벌 저서동물 군집의 공간분포와 장기변동 패턴, 인하대학교 박사학위논문.

이기철 (1997). 전남 서남해안 간척지 개발로 인한 환경분쟁에 관한 연구, 대한국토도시계획학회지 「국토계획」, 제32권, 제6호, pp. 183-199
 이창희, 구도완, 노태호, 문현주, 전성우, 허경미 (2003). 하구역 환경보전 전략 및 통합환경관리방안 수립, 한국환경정책·평가연구원
 이창희, 남정호, 김선희, 박석두, 노백호, 노태호, 이수재, 문현주, 최유진, 허경미, 김동우, 강수진, 방승석 (2004). 지속가능한 하구역 관리방안 (I), 한국환경정책·평가연구원
 정진순 (2004). 낙동강 하류의 습지 환경 변화 연구, 지리과교육, 제7권, pp. 179-197
 제종길, 이재학, 고철환 (1998). 갯벌연구: 현재와 미래, 해양연구, 제20호, 제2호, pp. 57-61
 해양수산부 (2003). 전국 갯벌 면적조사 및 수치지도 작성
 환경부 (2003). 습지보전법(법·시행령·시행규칙)
 Doornbos, G., Groenendijk, A. M., and Jo. Y. W. (1986). Nakdong estuary barrage and reclamation project. Biological Conservation, Vol. 38, pp. 115-142
 Lee, Y. H., and Lee. M. (2002). A review of wetland policies and related guidelines of leading nations and Korea with emphasis on creation of artificial wetlands. Ocean and Polar Research, Vol. 24, No. 1, pp. 93-114
 Kent, D. M. (2001). Applied wetlands science and technology. 2nd ed. Lewis Publishers. Boca Raton., Florida
 Koh, C. H. (1997). Korean megatidal environmental and tidal power projects. La Houille Blanche, Vol. 3, pp. 66-78
 Falconer, R. A., and Goodwin, P. (1994). Wetland management, Thomas Telford
 Mitsch, W.J., and Gosselink. J. G. (2000). Wetlands, 3rd ed. John Wiley & Sons Inc., New York