

## 유역특성에 따른 한강하구 습지의 공간분포 및 변화분석\*

노백호\*\*

### Spatio-Temporal Dynamics of Estuarine Wetlands Related to Watershed Characteristics in the Han River Estuary\*

Paikho Rho\*\*

**요약** : 본 연구는 한강하구에 위치한 33개 표준유역을 대상으로 1910년대, 1970년대, 2000년대 지형도를 이용하여 하구습지를 추출하여 공간적 분포특성과 시기별 변동추이를 분석한 것이다. 또한 하계밀도, 유역의 위치 및 크기, 경사도, 평균표고 등 유역특성이 하구습지 분포와 어떤 관계를 갖고 있는지 살펴보고, 개발사업 등 인위적 교란이 하구습지 훼손에 미치는 영향을 파악하였다. 지형도 분석결과, 하구습지는 1910년대부터 1970년대까지 완만하게 감소하였으며, 수도권이 팽창하기 시작한 1970년대 이후 한강하구의 습지는 급속하게 훼손되었다. 표준유역의 위치에 따라 하구습지를 구성하는 퇴적물 구성비율도 다르게 나타났는데, 해안에 인접한 유역에서는 갯벌(펄)의 구성비율이 높고 한강분류 및 지류에 인접한 유역에서는 사구나 습지(식생군락)가 우세한 것으로 나타났다. 또한 유역면적이 넓고 경사가 급하며 평균표고가 낮은 지역에서 하구습지는 광범위하게 분포하였다. 1970년대 이후 하구습지는 인위적 교란이 높은 한강서울, 한강서해, 한강고양 권역에서 크게 훼손된 반면 군사적 이유로 민간인의 출입이 제한된 임진강하류 및 한강하류 권역에서는 감소폭이 낮았다. 특히 지난 30여년 동안 인구증가율이 높으며 인공적인 토지피복 구성비율이 높아진 유역에서 하구습지의 훼손이 높게 나타났다.

**주요어** : 하구습지, 유역특성, 지형도, 습지훼손, 인위적 교란

**Abstract** : Estuarine wetlands for 33 watersheds in the Han River estuary were delineated on topographic maps from the 1910s, 1970s, and 2000s. Then, these data were used to address the issue of spatial distribution and temporal variation. Watershed characteristics such as drainage density, location, watershed size, slope, and elevation were identified for each watershed to determine the relationship between watershed characteristics and spatial distribution of estuarine wetlands. The analysis of estuarine wetlands indicated that wetlands in the estuary had declined gradually between the 1910s and the 1970s, although most wetlands were lost since the 1970s mainly caused by the large development projects related to urban expansion in metropolitan Seoul. The sediment composition and formation processes of the wetlands differed with watershed location; mud flats dominate in the lower part of the estuary, and relatively more sandy and emergent-plant wetlands occur near the main channel and tributaries of the Han River. Relatively more estuary wetlands occur in large watersheds, which have high slopes and low elevations. Estuarine wetlands have been lost dramatically in the densely populated watershed regions (i.e., Han River Seoul, Han River Goyang, West Han River), while relatively more wetlands have remained in undeveloped regions, including the Lower Imjin River and Lower Han River. In particular, anthropogenic disturbance has played an important role in the loss of wetland through the conversion of wetland into agricultural and developed land.

**Key Words** : estuarine wetland, watershed characteristic, topographic map, wetland loss, anthropogenic disturbance

\* 이 논문은 경제인문사회연구회의 지원에 의해 연구되었음.

\*\* 한국환경정책·평가연구원 책임연구원(Research Fellow, Environmental Management Check Division, Korea Environment Institute), oikos@kei.re.kr

## 1. 서론

하구역(estuary)은 하천의 담수와 바다의 해수가 만나 혼합되는 전이수역으로 조석, 파랑 및 하천 유량의 영향을 받기 때문에, 위치나 시간에 따른 환경요인의 변화폭이 크고 이에 따라 생물의 구성도 다양하게 나타나는 역동적인 생태계이다(박의준, 2000; Mitsch and Gosselink, 2000). 이러한 하구생태계는 하천의 상류와 연안지역에서 유입되는 퇴적물, 각종 영양염류, 조석에너지와 태양에너지 등 에너지가 풍부하여 넓은 하구습지를 형성하는데, 특히 한강하구역은 대하천 및 높은 조수간만 차로 인해 약 232.1km<sup>2</sup>의 하구습지를 보유하고 있으며 이는 우리나라 연안습지의 8.4%에 해당한다(노백호 등, 2006).<sup>1)</sup> 한강하구역은 4대강 하구역 가운데 유일하게 하구둑에 의해 하구순환이 막히지 않은 하구로서 자연적인 하구지형과 기수역 생태계를 잘 간직하고 있다(이창희 등, 2003; 신영규 · 윤광성, 2005). 또한 남북한 사이의 정치·군사적 갈등과 대립으로 연안개발, 관광, 주택, 산업 등 인간의 직접적인 간섭행위와 사회경제활동이 극도로 제한되어 있어 다른 하구에 비해 생태적으로 보호가치가 높은 하구습지를 많이 보유하고 있다.

하구습지 생태계가 잘 보존되었던 한강하구역은 최근 들어 국책사업이나 대규모 개발사업의 요구가 급격히 증가되었으며,<sup>2)</sup> 고양시, 파주시, 김포시 등 주변지역의 개발압력도 높아지고 있다. 한강하구역에서 이루어지는 각종 개발사업은 주로 매립을 통한 간척지에 이루어지거나 농지의 용도변경을 통해 이루어지고 있는데, 매립에 의한 하구갯벌의 훼손이나 하구 주변의 농경지 감소는 한강하구의 깃대종인 저어새, 재두루미, 개리 등 국제적 희귀조류 및 기수성 식물군락의 생육환경에 악영향을 미치고 있다(한강유역환경청, 2007). 즉 한강하구의 주변유역에서 이루어지는 각종 개발사업과 도로·택지개발에 따른 농경지 용도 변경은 하구습지의 공간적 분포나 시기별 변동에 영향을 미치고 있다(노백호 등, 2006).

한강하구에 대해 습지보호지역을 지정하여 하구습지 등 생물서식지를 보호하기 위한 노력이 이루어지고

있지만, 여전히 보전 보다는 개발 압력이 강한 우리나라 하구에서는 서식지 감소로 인한 기수생태계 파괴 위협이 높다. 훼손 위기에 있는 한강하구역의 습지는 그동안 민간인뿐만 아니라 연구자의 출입을 엄격히 제한하여 하구습지에 대한 조사·연구가 미흡한 실정이다(신영규 · 윤광성, 2005). 하구습지를 둘러싸고 있는 주변 하천유역의 토지피복이나 토지이용, 지형 여건은 습지의 발달에 큰 영향을 미치고 있음에도 불구하고(Forman and Godron, 1986; Bedford, 1999), 한강하구에 대해 유역크기, 하계밀도, 형상계수, 경사도, 해발고도가 하구습지의 분포 및 훼손에 어떤 영향을 미치는지 정량적인 연구가 이루어지지 않았다. 이에 본 연구는 1) 한강하구 습지의 변화를 시계열적으로 정량화하여 분석하고, 2) 하구습지의 훼손원인을 하천유역의 특성과 비교하여 파악하고자 한다.

## 2. 연구지역 및 연구방법

### 1) 연구지역

연구대상지역으로는 한강하구를 선정하였다. 하구역의 경계를 설정하는데 있어 조석활동이나 지형, 유역 등을 고려하는 것은 하구습지의 특성을 파악하는데 중요하다(서종철 · 박경, 2005). 따라서 한강하구역의 하천경계는 조석변화, 하천유량의 변화를 고려하여 조석의 영향 즉 조석에 따른 수위변화가 나타나는 잠실수중보 하단까지를 하구역 경계로 설정하였다.<sup>3)</sup> 해양 경계는 염분분포를 이용하여 하구역을 설정할 수 있으나, 황해지역의 특성상 현실적으로 염분분포를 사용하여 하구역 경계를 설정하기 어렵다(이창희 등, 2003). 따라서 갈수기 및 풍수기에 한강 담수의 영향을 받는 지역을 포함하고, 기존의 행정경계와 연관성을 확보한다는 관점에서 강화군과 옹진군 행정구역 경계를 중심으로 설정하였다(그림 1).

한강하구역은 2개 대권역, 5개 중권역 그리고 33개 표준유역으로 구성되었다(표 1). 대권역으로는 한강과 한강서해 대권역이 있고, 한강 대권역에는 한강하류,

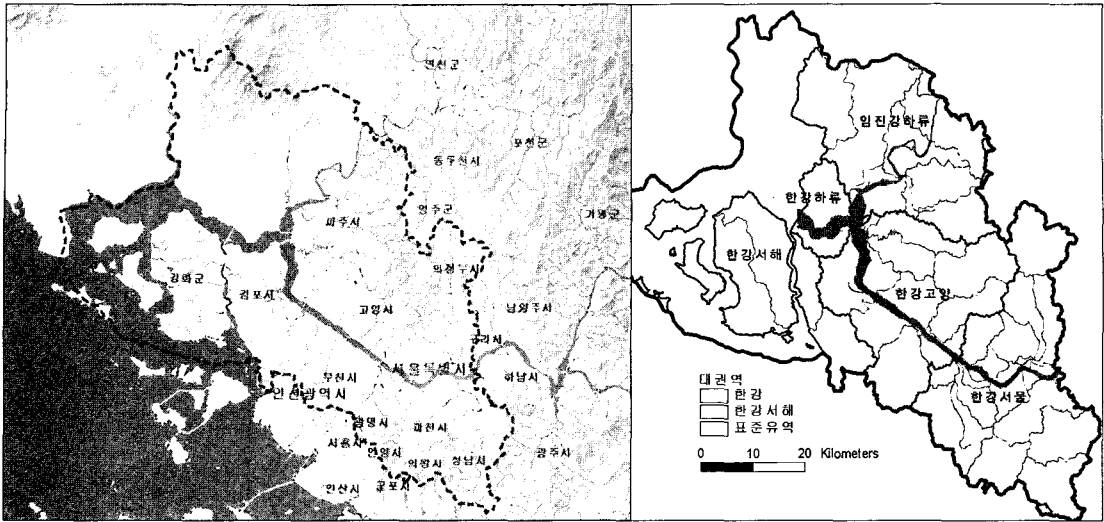


그림 1. 한강하구역의 공간범위 및 해당구역

임진강하류, 한강서울, 한강고양 증권역이 있으며, 한강서해 대권역에는 한강서해 증권역이 포함된다(그림 1). 이 지역의 지질은 주로 선캠브리아기에 형성된 경기편마암복합체로 구성되었으며, 한강에 따라 층적층 및 간척지가 넓게 나타나는 것이 특징이다(신영규·윤광성, 2005). 한강하구는 유역면적이 크고 유량이 많아 지질학적인 시간동안 퇴적물이 많이 공급되었으며, 한강에 따라 둔치 형태의 하도습지 및 사구가 널리 분포하고, 제주초도, 초평도, 난지도 등 하중도<sup>4)</sup> 발달이 활발하였다.

한강은 우리나라 4대강 가운데 유일하게 하구둑으로 단절되지 않은 자연 상태의 기수생태계를 보전하고 있으며, 강화 앞바다에서 김포, 파주, 고양까지 막히지 않은 갯줄기로 이어져 거대한 기수역을 형성하고 있다

(이창희 등, 2003; 환경부·국립환경연구원, 2005). 한강하구의 지형적 특성은 한북정맥, 한남정맥과 경기만을 중심으로 이해할 수 있는데, 한북정맥은 백두대간에서 남서쪽으로 꺾이어 도봉산, 북한산, 삼각산을 지나고 파주 교하까지 이어진 산줄기이다. 한남정맥은 칠현산에서 북으로 용인의 보개산, 수원 광교산을 지나 수리산, 소래산, 주안산, 김포의 문수산으로 이어진다. 한남정맥으로 둘러싸인 경기만은 인천을 중심으로 높은 대조차로 인해 하구습지가 넓게 형성되었다. 경기만의 특징은 해안을 따라 발달한 하구습지라 볼 수 있는데, 이 지역은 해안선이 복잡하고 섬이 많아서 파랑의 작용이 활발하지 않은 대신에 조차가 커서 조류의 작용이 지배적이며, 넓은 유역면적으로 인해 상류로부터 많은 퇴적물이 공급되고 있다. 모래갯벌(sand

표 1. 한강하구역의 하천유역

대권역	증권역	표준유역
한강	한강하류	한강하류 (1개)
	임진강하류	임진강하류, 사천, 백전리하천, 문산천하류, 문산천상류, 문산천합류점, 놀노천합류점 (7개)
	한강고양	임진강합류점, 곡릉천하류, 곡릉천상류, 계양천, 굴포천, 행주대교수위표, 창릉천 (7개)
	한강서울	안양천상류, 안양천중류, 안양천하류, 홍계천, 홍계천합류점, 한강대교수위표, 중랑천하류, 중랑천상류, 중랑천합류점, 탄천하류, 탄천상류, 청계천, 성남수위표 (13개)
한강서해	한강서해	강화도, 삼흥천, 상동암천, 검단천, 포내천 (5개)

flat)은 대하천 하구를 기점으로 외해를 향해 원호상으로 성장하는 모습이나 사퇴가 수로를 따라 길게 발달하는 양상을 나타내는데, 이는 경기만의 하구습지를 구성하는 물질의 기원과 분포에 대한 한강과의 관계를 보여주는 증거들이다(박경, 2004).

## 2) 연구방법

본 연구는 크게 두 가지로 구성되는데, 첫째 하천유역의 특성에 따른 하구습지의 공간적 분포현황을 파악하는 것이고, 둘째 하구습지의 시기별 변화, 특히 인구증가 및 토지피복 변화가 하구습지에 어떤 영향을 미쳤는지 정량적으로 분석하는 것이다. 하구습지의 공간적 분포현황을 파악하기 위해 1910년대, 1970년대, 2000년대 지형도를 획득하여 한강하구역의 하구습지 GIS-DB를 구축하였다.<sup>5)</sup> 하구습지는 지형도 도식규정에 의거하여 일제시대 고지형도 제작에서부터 현재까지 일관되게 사용하는 갯벌, 모래(사구), 습지(식생군락)로 구분하였다(양태진, 1998). 고지형도 부호에 따르면, 하구습지는 크게 니지(갯벌), 사지(모래), 습지 등으로 구분되며, 현 국가기본지형도에서는 펄, 모래(사구), 습지로 명칭이 변경되었다(정진순, 2004; 국토지리정보원, 2006).

하천유역에 대한 자료는 건설교통부 한강홍수통제소에서 관리하는 국가수자원관리종합정보시스템을 이용하여 획득하였다. 유역면적, 하천총길이 및 하계밀도(drainage density)<sup>6)</sup> 등 유역특성은 연구대상 33개 표준유역별로 계산하여 앞서 구축한 하구습지 GIS-DB와 비교하였다. 유역의 지형적 특성을 파악하기 위해 평균표고, 경사도를 계산하였는데, 이는 환경부 환경지리정보시스템에 의해 구축된 수치고도모델(Digital Elevation Model, DEM)을 이용하였으며, 유역내 토지피복이나 인구 변화가 하구습지에 미치는 영향을 파악하기 위해 통계청에서 조사한 인구주택총조사와 토지피복지도를 획득하였다.<sup>7)</sup> 인구변화는 1970년대와 2000년대를 비교하였으며, 토지피복변화는 1980년대와 1990년대의 변화를 토대로 하구습지와의 관계를 분석하였다.

하구습지의 분포에 대한 GIS-DB의 신뢰성을 높이

기 위해 토지피복지도(중분류) 및 고해상도 위성영상을 참고자료로 활용하였으며, 분석의 일관성을 확보하기 위해 33개 표준유역별로 하구습지, 유역면적, 유역의 형상계수(shape factor), 하계밀도, 평균표고, 경사도, 인구 및 토지피복을 구축하였다. 하구습지의 공간분포 및 시기별 습지변화는 ArcView GIS 소프트웨어 및 Spatial Analyst Extension을 이용하여 분석하였으며, 통계분석은 SPSS(ver. 11)를 활용하였다.

## 3. 유역특성과 하구습지 분포

한강하구에 분포하고 있는 33개 표준유역의 특성을 살펴보기 위해 유역크기, 평균표고, 경사도, 하계밀도 등을 계산하고, 이를 토대로 유역특성을 구분하였다. 해안지역을 접하고 있는 한강서해 대권역에 포함되는 5개의 표준유역과 한강 본류 및 지류에 위치한 28개 표준유역은 형상계수, 하계밀도 등 유역특성이 상이하게 나타난다. 내륙에 위치한 28개 표준유역은 다시 한강 본류에 접하고 있는 12개 표준유역과 굴포천 등 지류에 접하고 있는 16개 표준유역으로 구분하여 하구습지의 분포 및 변화특성을 살펴보았다.

한강하구역의 경우, 권역별로 상이한 유역특성을 보이고 있는데, 습지생태계를 보호·복원하기 위해서는 반드시 유역의 크기, 지형, 표고 및 경사, 하계밀도, 토양 등 유역특성을 감안해야 한다는 점을 시사한다(Johnston *et al.*, 1990; Bedford, 1996). 해안지역을 접하고 있는 한강서해 권역은 내륙에 위치한 한강서해 권역에 비해 하계밀도와 형상계수가 높게 나타났다. 한북정맥의 영향을 받는 한강서울 및 임진강하류 권역은 평균표고와 경사도가 높으며, 넓은 유역면적을 갖고 있으며, 한강하류는 한강서해와 유사하게 낮은 하계밀도와 형상계수를 보이고 있다(표 2).

분석 결과, 한강하구의 습지분포는 황해와 만나는 강화도 남북단 해안에 갯벌이 발달되어 있으며, 인천의 영종도와 송도지역, 시흥, 안산, 화성을 연결하는 경기만 지역에 넓게 분포되었다(그림 2). 한강하구를 중심으로 분포되어 있는 하구습지는 한반도 3대 핵심

표 2. 한강하구역의 유역현황

중권역	유역면적(km <sup>2</sup> )	평균표고(m)	경사도(%)	형상계수	하계밀도	하천총길이(km)
한강서울	1,537.22	110.1	18.23	1.26	1.77	2,717.13
한강고양	826.31	55.3	10.86	1.44	1.46	1,202.33
임진강하류	1,419.21	103.4	18.73	1.46	1.06	127.26
한강하류	146.41	31.8	11.30	1.06	0.87	950.65
한강서해	1,031.64	37.1	11.28	0.14	0.92	1,508.29

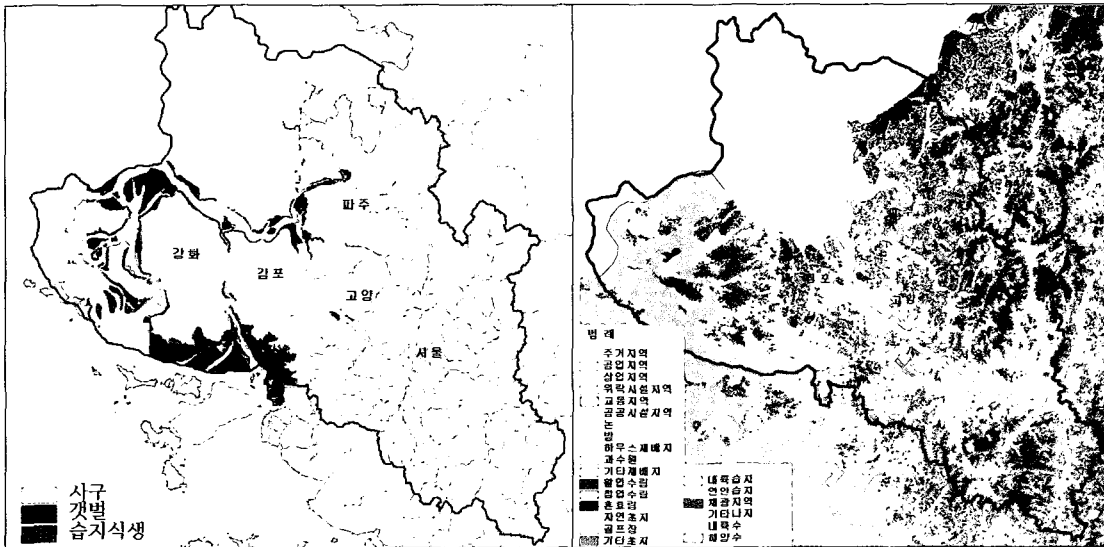


그림 2. 1970년대 한강하구 습지분포 및 1990년대 토지피복 현황도

축인 도서연안과 비무장지대 생태축이 만나는 지점으로 지정학적 중요성이 높다(제종길 등, 1998). 특히, 강화도 주변에 집중되어 있는 한강하구의 갯벌은 전형적인 하구갯벌로써 국내에 현존하는 하구 중에서 자연성이 높으며, 대단위 저서동물 군집 및 철새 도래지로서 다양한 소규모 생태계가 존재하고 있어 생물다양성이 높게 나타나고 있다(유재원, 1998).

하구의 유역특성을 감안한 하구습지의 분포를 살펴 보는데 있어 유용한 자료를 획득하고 또한 하구습지 복원에 있어 원형습지(prototype wetland)의 모습을 살려내기 위해 본 연구에서는 1970년대 하구습지의 공간적 분포와 유역특성을 비교하였다. 이를 통해 개발 사업에 의해 훼손된 한강하구의 훼손되기 전의 원래 모습을 복원할 수 있는 기초자료를 제시할 수 있다. 이

에 따르면, 강화도를 중심으로 한 연안지역의 하구습지는 주로 갯벌로 이루어져 있는데 특히 강화남단과 북단에 광범위하게 발달하였다. 또한 한강과 임진강이 합류하는 오두산 통일전망대 주변에도 하구갯벌이 활발하게 발달하였으며, 모래사구는 주로 상류 지역에 넓게 분포하였다(그림 2).

하구습지는 일반적으로 조수나 파랑 등 해양에 의한 영향과 육상에서 운반되어 온 하천퇴적물의 영향을 동시에 받는다(서종철·박경, 2005; 신영규·윤광성, 2005). 한강 상류에서 유입되는 퇴적물 가운데 모래사구와 같은 조립질 퇴적물은 주로 한강지류 또는 한강 본류에 우세한 반면, 갯벌과 같은 세립질 퇴적물은 한강서해 등 바다에 인접한 유역에 우세하다(그림 2). 경기만 및 강화도 등 바다에 접한 유역은 22,306ha의 하

표 3. 유역특성별 한강하구 습지면적

(단위 : ha)

구분 <sup>8)</sup>	전체면적	갯벌	사구	습지식생 <sup>9)</sup>	합계
바다에 접한 유역	68,329	22,026	8	271	22,306
한강본류에 접한 유역	109,272	2,181	2,108	719	5,007
한강지류에 접한 유역	188,573	127	756	15	897

표 4. 회귀분석 추정결과

변수	추정계수	p-value	비고
유역면적	0.257	0.052	Adjusted R <sup>2</sup> = 0.502 df = 5 Number of observation = 33
평균표고	-1.065	0.000	
경사도	0.688	0.002	
형상계수	-0.050	0.740	
하계밀도	0.041	0.798	
상수항	-958.015	0.302	

구습지를 보유하고 있으며, 특히 펄갯벌의 구성비율이 높게 나타났다. 한강본류에 접한 유역에서는 모래사구의 비율이 다른 지역에 비해 높는데, 이는 상류 경사지에서 유입된 퇴적물이 하폭이 넓고 유속이 느린 구간을 만나면서 퇴적되어 모래사구가 발달하기 때문으로 생각된다. 한편 한강지류에 인접한 유역에서는 습지형성이 미흡한 상황이며, 다만 모래사구의 구성비율이 높게 나타났다(표 3).

유역특성이 하구습지에 미치는 영향을 통계적으로 분석하기 위해 유역면적, 평균표고, 경사도, 형상계수, 하계밀도를 독립변수로 하고, 하구습지 면적을 종속변수로 하여 다변량 회귀분석을 실시하였다. 이에 따르면 유역면적, 평균표고, 경사도는 통계적으로 유의하게 나타났으며, 특히 유역면적과 경사도는 하구습지와 양의 상관관계를 갖는 것으로 밝혀진 반면, 평균표고는 음의 상관관계를 갖는 것으로 밝혀졌다. 즉, 표고가 높은 유역의 경우, 하구습지 면적이 적고 표고가 낮을수록 하구습지의 면적이 증가하는 것으로 나타났다. 한편 하계밀도가 높으면 하구습지의 면적도 증가하는 반면, 유역의 형상계수는 통계적으로 유의한 값을 나타내지 못하였다(표 4).

#### 4. 토지이용 변화와 하구습지 훼손실태

생태학적으로 보호가치가 높은 한강하구 습지는 지난 90여년 동안 지속적으로 감소되었는데, 특히 1970년대 이후 감소율이 크게 높아졌다. 하구는 독특한 생태계를 통해 자연자원을 많이 보유하고 있을 뿐만 아니라 해양과 육상과의 교역, 범람원에 의한 재해예방, 농지간척, 각종 택지개발 등으로 인해 토지이용의 변화가 심한 지역이다(이민부 등, 2003; 노백호 등, 2006). 한강하구는 모래채취, 제방건설, 각종 간척·매립사업과 한강종합개발사업 그리고 최근 증가되고 있는 수도권 주변의 택지개발에 의해 위협받고 있다. 개발사업에 따른 공사비를 충당하기 위해 한강에서 막대한 규모의 모래를 채취하였으며, 한강변의 고수부지 및 수변공원 조성으로 인해 한강하구의 습지가 큰 폭으로 감소되었다. 예를 들어, 모래채취 및 신곡수중보 건설 등 하구순환 왜곡에 따라 제주초도, 난지도 등 보호가치가 높은 하중도가 소멸되었다.

하구습지의 변화추이를 권역별로 살펴보면, 1910-1970년에는 하구습지가 완만하게 감소한 것으로 파악되었으나, 한강하류 및 한강고양과 같은 일부지역에서는 오히려 하구습지가 소폭이나마 증가하였다. 그러나

표 5. 한강하구역의 시기별 습지면적 및 증감량

(단위 : ha)

중권역	유역면적	습지면적		
		1910년대	1970년대	2000년대
한강서울	153,722	1,101	1,795 (△694)	16 (▽1,779)
한강고양	82,631	1,687	2,109 (△422)	497 (▽1,612)
임진강하류	141,921	1,501	1,255 (▽246)	659 (▽596)
한강하류	14,641	674	746 (△72)	650 (▽96)
한강서해	103,164	25,713	22,306 (▽3,407)	14,487 (▽7,819)
합계	496,079	30,676	28,210 (▽2,466)	16,309 (▽11,901)

1970년대 이후 한강하구의 습지는 급속히 훼손되었는데, 특히 각종 매립사업이 집중된 한강서해 권역과 한강종합개발사업(1982~1986)이 실시된 한강서울 권역에서 높게 나타났다. 또한 최근들어 개발압력이 증가하고 있는 한강고양 권역에서도 습지의 훼손이 늘어나고 있음을 알 수 있다(표 5).

하구습지가 급격히 감소한 1970~2000년대 습지변화에 어떤 요인이 영향을 미쳤는지 파악하기 위해, 하구습지의 훼손실태를 유역별로 정리한 결과, 연구대상 33개 표준유역 가운데 1970년대부터 2000년대 사이에 하구습지가 증가한 표준유역은 상동암천 한 곳 뿐이었고, 31곳의 표준유역에서 하구습지가 감소한 것으로 나타났다. 한강하류, 임진강하류, 삼흥천 유역의 경우 상대적으로 감소율이 낮게 나타난 반면 행주대교수위표, 홍제천 등 한강서울 중권역에 포함되는 표준유역의 습지 감소율이 높게 나타났다.

한강하구역의 하구습지는 인위적 교란요인과 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다. 연구대상 표준유역 가운데 유일하게 하구습지가 증가한 상동암천의 경우,

1970년대 이후 인구가 감소하였으며 인공적인 토지피복 즉 시가화건조지역, 농경지역, 나지의 구성비율이 줄어든 반면 산림, 초지 등 자연적인 토지피복의 구성비율이 증가한 것으로 나타났다. 즉 택지개발이나 도로건설 등 개발사업이 활발하지 않았던 상동암천 유역에서 하구습지는 잘 보존되고 있음을 유추할 수 있다. 또한 상대적으로 하구습지의 훼손이 낮은 한강하류, 임진강하류, 삼흥천 3개 표준유역에서의 인구증가율 및 인공적인 토지피복 구성비율은 하구습지의 훼손이 심각한 28개 표준유역 보다 크게 낮은 것으로 나타났다(표 6).

일반적으로 점토질의 펄갯벌(mud flat)은 대하천의 하구와 수로에서 벗어나 있어서 에너지 흐름이 약화된 만입의 안쪽이나 유량이 부족한 소하천의 하구를 중심으로 발달한다(박희두, 2005). 한강하구는 수도권에 인접하고 있어 개발수요가 높고 이에 따라 경기만에서는 대규모 간척사업이 이루어져 한강서해 권역을 중심으로 하구갯벌이 크게 소실되었을 뿐만 아니라 자연해안선의 굴곡이 크게 줄어들어 향후 새로운 갯벌 형성도

표 6. 하구습지의 변화율에 따른 인구 및 토지피복구성비율 변화

구분	해당 표준유역	1970~2000년인구증감율	인공적인 토지피복변화율
하구습지 증가	상동암천 (1개)	▽ 0.83	▽ 0.25
하구습지 50% 이하 감소	한강하류 등 (3개)	▽ 0.88	▽ 0.62
하구습지 50% 이상 감소	임진강하류점 등 (9개) <sup>10)</sup>	16.15	0.62
하구습지 소멸	한강대교수위표 등 (19개)	10.87	0.22
합계	11.18	0.21	

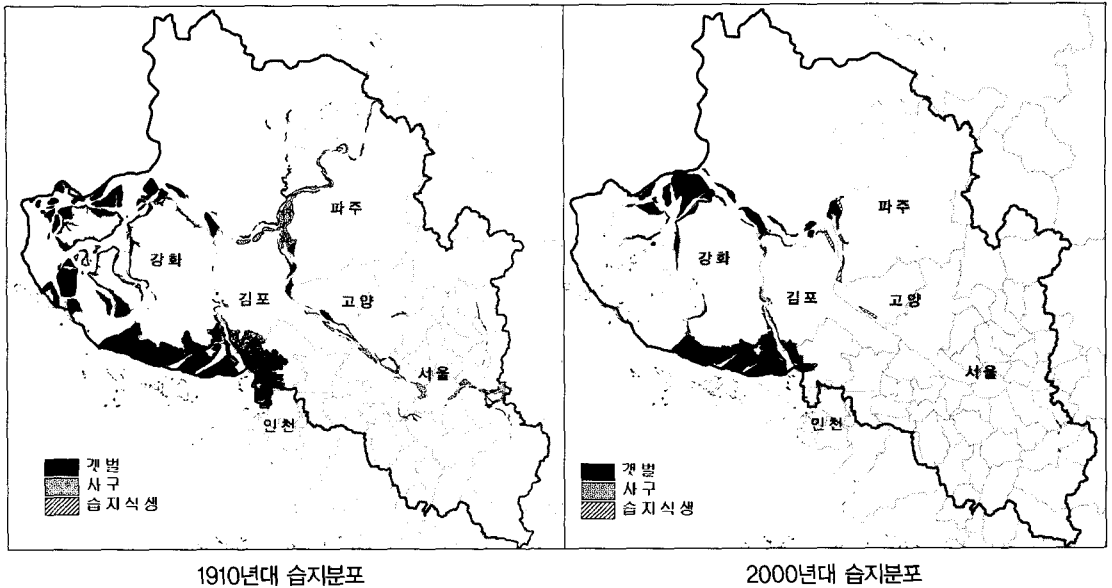


그림 3. 한강 하구습지의 시계열 변화

어렵게 되었다. 육상부의 한강서울, 한강고양 권역 등도 각종 개발사업으로 인해 대부분의 하천이 인위적으로 직강화되었으며, 하천 및 바다에 인접한 많은 하구습지는 매립하여 농지로 전용하였다.

한강하구역은 오랫동안 범람원으로 불리는 퇴적지형이 광범위하게 발달하였다(신영규·윤광성, 2005). 범람원은 인공적으로 쌓은 인공제방과는 달리 하천이 운반 퇴적하는 토사로 이루어진 자연제방과 배후습지를 형성한다. 자연제방은 물이 하도를 넘을 때 유속이 급격히 감소하면서 부유하중으로 운반되던 모래와 실트가 하도 주변에 쌓이게 됨으로써 약간 높은 지형을 이루면서 만들어진 지형이며, 배후습지는 하도에서 멀리 떨어진 곳에 토사의 유입이 적어 지형이 낮아진 곳에 발생한다(박경, 2004). 1970년대 이후 한강하구의 범람원에 대한 인간의 간섭은 크게 증가되었으며, 특히 한강종합개발사업에 의해 하천 양안의 둔치형태로 퇴적된 많은 하구습지가 사라졌다(그림 3). 또한 한강의 물 흐름에 따라 자연스럽게 형성되었던 수많은 하중도(예, 난지도, 제주초도)가 개발로 인해 소실되면서 한강하구의 고유한 기수생태계 및 지형경관도 과거의 모습을 찾기 어렵게 되었다(이삼희·황승용, 2006).

## 5. 결론

본 연구는 육상과 해양, 담수와 염수의 접이치대에 위치하여 독특한 기수생태계 특성을 지니고 있는 하구습지의 공간적 분포와 변화추이 분석을 목적으로 실시하였으며, 사례지역으로 우리나라 4대강 가운데 유일하게 하구둑에 의해 하구순환이 단절되지 않아 자연하구의 모습을 간직한 한강 하구를 선정하였다. 하구습지의 형성은 해수면 변동이나 조석활동 등 해양환경의 영향과 하상구배, 유역면적 등 하천유역의 특성에 의해 영향을 받는다(Forman and Godron, 1986; Mitsch and Gosselink, 2000; 신영규·윤광성, 2005). 이에 본 연구에서는 한강하구에 위치한 33개 표준유역을 해양환경 및 유역특성을 감안하여 바다에 접한 유역, 한강 본류에 접한 유역, 그리고 한강 지류에 접한 유역으로 구분하였으며, 경사도, 평균표고, 하계밀도, 형상계수 등을 상세히 살펴보았다.

하구습지의 유형은 퇴적물의 구성에 따라 상이하게 나타났는데, 바다에 접한 유역에서는 갯벌(펄)의 구성 비율이 높게 나타난 반면 한강본류 및 한강지류는 상대적으로 모래사구나 습지식생이 널리 분포하고 있었다. 즉 바다에 접한 유역은 조수의 작용을 받아 세립질



의 펼쳐벌이 우세하고, 한강지류 및 한강본류에 접한 유역은 하천의 작용을 받아 조립질의 모래사구, 습지 식생의 구성비율이 높은 것으로 판단된다. 이와 같은 하구습지의 공간분포는 한강 상류에서 하류쪽으로 진행하면서 모래와 같은 조립질은 하폭이 넓고 유속이 감소하는 하천구간을 중심으로 둔치 또는 하중도 형태로 퇴적하고, 세립질은 하구순환이나 연안류에 의해 바다에 인접한 지역에서 퇴적하기 때문으로 판단된다. 특히 한강 본류와 곡릉천, 창릉천 등 지류들이 만나는 소하천 하구는 하폭이 넓고 유속이 느려져 퇴적물의 공급이 활발하기 때문에 다양한 하구습지가 형성되고 있다.

하구습지의 발달은 유역특성에 따라 차이가 있다 (Bedford, 1999). 한강 하구역에서는 유역면적이 넓고, 평균표고가 낮으며, 유역의 경사도가 급한 지역에서 하구습지 발달이 활발한 것으로 나타났다. 퇴적활동은 일반적으로 하천의 경사구배가 완만한 지역에서 발생한다(박의준 등, 2005; 박희두, 2005). 그러나 유역단위에서 하구습지의 형성과정은 좀 더 넓은 공간적 범위에서 바라보아야 할 것이다. 즉 하구습지의 구성물질은 침식이나 이동을 통해 생성되는데, 유역의 경사도가 완만하면 침식이나 이동활동이 낮기 때문에 퇴적물의 생성이 낮고, 유역의 경사도가 높은 지역에서는 퇴적물이 급경사지에서 침식되어 이동하다가 완경사지를 만나는 지점에서 퇴적하기 때문에 유역단위에서 살펴볼 경우 경사도가 높은 유역에서 하구습지가 활발하게 생성되는 것으로 판단된다. 한편 유역의 형상계수와 하계밀도는 통계적으로 의미있는 값을 나타내지 못하고 있다.

하구습지의 변화추이를 살펴보기 위해 1910년대, 1970년대 그리고 2000년대 지형도를 분석한 결과, 1970년대 이전까지는 하구습지가 완만하게 감소하였으나 1970년대 이후 급속히 훼손된 것으로 나타났다. 하구습지의 훼손은 모래채취 및 간척·매립사업과 1982년부터 시작된 한강종합개발사업 그리고 최근 증가되고 있는 수도권 주변의 택지개발에 따른 것으로 생각된다. 예를 들면, 인위적 개발압력이 높은 한강서울, 한강고양, 한강서해 권역에서의 습지훼손이 높은 반면 군사적 긴장관계로 접근이 제한되어 있는 한강하

류 및 임진강하류 권역의 하구습지는 상대적으로 감소율이 낮게 나타났다.

하구습지 훼손에 인위적 요인이 미치는 영향을 정량적으로 파악하고자, 하구습지가 크게 줄어든 1970년대 이후 연구대상 33개 표준유역의 인구변화와 인공적 토지피복 구성비율의 변화를 비교 분석한 결과, 유일하게 하구습지의 면적이 증가된 상동암천 유역은 다른 유역과는 달리 해당 기간동안 인구가 감소하였으며, 시가화건조지역 등 인공적인 토지피복의 구성비율 또한 줄어든 것으로 나타났다. 한편 인구가 늘어나고 인공적인 토지피복구성비율이 증가된 대부분의 유역에서는 하구습지가 크게 감소된 것으로 나타나, 향후 수도권 인구증가에 대비하여 하구습지의 훼손을 막기 위한 대책을 시급히 마련되어야 할 것이다.

### 註

- 1) 우리나라 국가하천 및 제1급 지방하천 17개 하구 가운데 한강하구의 습지면적은 만경강-동진강 하구에 위치한 새만금 갯벌을 제외하고 가장 넓은 면적을 차지하고 있는데, 17개 하구역에 분포하고 있는 전체 하구갯벌의 약 32.6%가 한강 하구에 분포하고 있다(노백호 등, 2006). 대개 갯벌은 연안 습지와 혼동되어 사용되고 있으나, 연안습지는 습지보전법에 의해 정의된 바와 같이 “만조시에 수위선과 지면이 접하는 경계선으로부터 간조시에 수위선과 지면이 접하는 경계선까지의 지역”을 말하며 주로 해양수산부에 의해 보전·관리되고 있다. 한편, 갯벌이란 퇴적물의 조성에 따라 펼쳐벌, 모래갯벌 그리고 혼성갯벌로 구분할 수 있는데, 본 연구에서는 모래갯벌은 모래사구로 그리고 펼쳐벌은 갯벌로 구분하여 정량화하였다.
- 2) 한강하구는 인구가 집중되어 있는 수도권에 위치하고 있으며, 영종도 국제공항의 건설, 경인운하 건설계획, 서울외곽순환도로, 제2자유로 등 접근성이 양호하기 때문에 김포신도시, 파주신도시, 파주 LCD 산업단지, 고양 한류우드 등 개발사업이 활발히 진행되고 있다.
- 3) 실제 조석의 영향은 더욱 상류까지 미칠 수 있으나, 잠실수중보에 의해 물리적으로 차단되고 있다. 하구는 조석의 영향 즉 감조구간과 함께 염분도를 이용하여 하구범위를 설정할 수 있는데, 과거의 염분 분포를 볼 때 해수는 노량진(홍사육·신경식, 1978)까지 영향을 미쳤으며, 한강종합개발사업(1982-1986)에 따른 신곡수중보 설치 이후 신곡수중보 하류

로 제한되고 있다(신영규·윤광성, 2005). 환경부에서는 염분도에 의해 신곡수중보 하류구간을 한강하구로 설정하였으며, 이를 토대로 한강하구 습지보호지역을 지정하였다(한강유역환경청, 2007).

- 4) 한강하구역에는 제주초도, 난지도 등 하중도가 발달했으나, 인위적 간섭에 의해 현재는 하중도의 모습을 찾기 어렵다. 제주초도는 주변 개발사업을 위한 모래채취와 신곡수중보 건설에 따른 유속 및 퇴적현상 변화로 인해 소멸되었으며, 대규모 하중도의 모습을 간직했던 난지도는 한강종합개발사업으로 더 이상 하중도의 모습을 찾기 어렵다.
- 5) 하계밀도는 유역면적에 대한 유역내 하천총길이의 비로 정의되며, 단위면적당 하천길이를 의미한다(권혁재, 2001). 하천길이는 1:25,000 지형도에 표시된 모든 하천을 표준유역별로 산출한 값이다.
- 6) 본 연구에 사용된 국가기본지형도는 다음과 같다.

구분	1910년대	1970년대	2000년대
조사시기	1914-1918	1975-1977	2002-2004
조사기관	조선총독부 임시토지조사국	건설부 국립지리원	국토지리 정보원
도면축척	1:50,000	1:25,000	1:25,000
도엽수	13도엽	35도엽	35도엽

- 7) 인구현황은 통계청(<http://www.nso.go.kr>)에서 제공하는 인구센서스 보고(1968, 경제기획원 조사통계국)와 인구주택총조사(1970, 2000)자료를 이용하여 표준유역별로 계산하였으며, 토지피복지도는 환경부 환경지리정보(<http://egis.me.go.kr>)에서 획득한 1980년대와 1990년대 대분류 토지피복지도를 활용하였다. 대분류 토지피복지도는 Landsat TM 위성영상을 기본자료로 수치지형도, 현존식생도, 임상도, 항공사진 등을 참조하여 제작하였는데, 1980년대 말과 1990년대 말에 촬영된 위성영상을 방사보정 및 기하보정을 통해 제작하였다. 본 연구에서는 대분류 토지피복지도 가운데 시가화건조지역, 농업지역, 나지를 추출하여 인공화된 토지피복구성비율을 계산하였다.
- 8) 바다에 접한 유역은 한강서해 대권역에 포함되는 강화도, 삼흥천, 상동암천, 검단천, 포내천 5개 표준유역이 있고, 한강본류에 접한 유역으로는 한강하류, 임진강하류, 안양천하류, 홍제천, 홍제천합류점, 한강대교수위표, 중랑천합류점, 임진강합류점, 곡릉천하류, 계양천, 행주대교수위표, 창릉천 12개 표준유역이 있다. 그 외 사천, 백전리하천, 문산천하류, 문산천상류, 문산천합류점, 놀노천합류점, 곡릉천상류, 굴포천, 창릉천, 안양천상류, 안양천중류, 중랑천하류, 중랑천상류, 탄천하류, 탄천상류, 청계천, 성남수위표는 한강지류에 접한 유역으로 구분하였다.
- 9) 본 연구에서 하구습지에 갯벌, 모래(사구), 습지(식생군락)로

세분하였는데, 이는 지형도 도식적용규정에 의거한 것으로 갯벌은 '간조때 노출되는 진흙'을 의미하고, 모래(사구)는 '해안 또는 하천에 있는 모래 및 자갈땅'을 나타낸다. 한편 습지(식생군락)는 항상 물기가 있어 질고 우기에는 침수되는 땅을 말하며, 특히 식물이 생육하는 곳을 나타낸다(국토지리정보원, 2006).

- 10) 1970년대 이후 하구습지가 50% 이상 훼손된 유역으로는 임진강합류점을 포함하여 강화도, 검단천, 계양천, 곡릉천하류, 놀노천합류점, 성남수위표, 탄천하류, 포내천이 속한다.

## 文獻

국토지리정보원, 2006, 1/25,000 지형도 도식적용규정, 국토지리정보원.

권혁재, 2001, 지형학, 법문사, 서울.

노백호·이창희·남정호·김선희·김홍상·유승훈·이장룡·황진환·안소은·장원근·강상규·박주영·최희정·한은진·강수진·최유진, 2006, 지속가능한 하구역 관리방안 (Ⅲ), 한국환경정책·평가연구원.

박경, 2004, 우리나라의 하구지형 및 경관변화. 하구역의 지속가능한 발전을 위한 워크샵, 한국환경정책·평가연구원.

박의준, 2000, "해안습지 성장률의 공간적 특성에 관한 연구," 한국지역지리학회지, 6(3), 153-168.

박의준·김성환·윤광성, 2005, "우리나라 대하천 상류 하천습지의 지형경관," 지리학연구, 39(4), 469-478.

박희두, 2005, "만경강과 동진강 유역의 습지분석," 한국지형학회지, 12(1), 1-12.

서종철·박경, 2005, "지형을 고려한 해안습지 분류," 지리학연구, 40(3), 339-351.

신영규·윤광성, 2005, "한강하구역의 수질 및 퇴적물 특성의 공간적 분포," 한국지형학회지, 12(4), 13-23.

양태진, 1998, (근세)한국 오만분지일 지형도, 경인문화사.

유재원, 1998, 서해중부 갯벌 저서동물 군집의 공간분포와 장기변동 패턴, 인하대학교 박사학위논문.

이민부·한옥·김남신·한주연·신근하·강철성, 2003, "다시기 위성영상을 이용한 두만강 하류지역의 농경지 개간의 공간적 특성분석," 대한지리학회지, 38(4), 630-639.

이삼희 · 황승용, 2006, “한강하구 장항습지의 형성 과정,” 건설기술정보, 272, 17-22.

이창희 · 구도완 · 노태호 · 문현주 · 전성우 · 허경미, 2003, 하구역 환경보전 전략 및 통합환경관리방안 수립, 한국환경정책 · 평가연구원.

정진순, 2004, “낙동강 하류의 습지 환경 변화 연구,” 지리 과교육, 7, 179-197.

재종길 · 이재학 · 고철환, 1998, “갯벌연구: 현재와 미래,” 해양연구, 20(2), 57-61.

한강유역환경청, 2007, 한강하구 습지보전계획 수립 연구 보고서.

홍사욱 · 신경식, 1978, “한강하류계의 수질과 니트에 관한 이화학적 조사연구,” 한국육수학회지, 16, 43-51.

환경부 · 국립환경연구원, 2005, 하구역 생태계 정밀조사 보고서.

Bedford, B., 1996, The need to define hydrologic equivalence at the landscape scale for freshwater wetland mitigation, *Ecological Applications*, 6, 57-68.

Bedford, B., 1999, Cumulative effects on wetland landscapes: links to wetland restoration in the United States and Southern Canada, *Wetlands*,

19, 775-788.

Forman R.T.T., and Godron, M., 1986, *Landscape Ecology*, John Wiley and Sons, New York.

Johnston, C.A., Detenbeck, N.E., and Niemi, G.J., 1990, The cumulative effect of wetlands on stream water quality and quantity: a landscape approach, *Biogeochemistry*, 10, 105-141.

Mitsch, W.J., and Gosselink, J. G., 2000. *Wetlands*, John Wiley & Sons Inc., New York.

교신: 노백호, 122-706, 서울 은평구 불광동 613-2, 한국환경 정책 · 평가연구원 환경관리연구실 (이메일: oikos@kei.re.kr, 전화: 02-380-7645)

Correspondence: Paikho Rho, Research Fellow, Environmental Management Division, Korea Environment Institute, 613-2 Bulgwang-dong Eunpyeong-gu, Seoul, 122-706, Korea (e-mail: oikos@kei.re.kr, Tel: 02-380-7645)

최초투고일 07. 03. 09.

최종접수일 07. 05. 28.