

한강 하구역의 염분 분포 및 생태환경특성

Salinity Distribution and Ecological Environment of Han River Estuary

박 경 수*

Gyung Soo Park

:: Abstract ::

Water quality and ecological environment in the Han River estuary was analyzed using the long-term water quality monitoring data from National Fisheries Research and Development Institute (NFRDI) and the existing data collected in this area. Based on the salinity distribution and changes of current direction in the lower Han River and its estuary, boundaries of the estuary were identified and also, distribution patterns of the phyto- and zooplankton, benthos, ichthyoplankton and fish were discussed related with the salinity changes in the macrotidal subestuary of Han River. Seasonal and spatial distribution of salinity suggested that the direct impact of freshwater be limited to the Incheon North Harbour all the year round and even extended to the southern area of Gyunggi Bay near Palmi island during limited time, usually in summer. Upper limit of salt water intrusion through the Han River is likely to be Singok underwater dam located Gimpo, Gyunggi Province, and normally limited to much lower part of the river, Jeonryuri, Gimpo. Biological boundaries of the Han River estuary exceeded the physical boundaries based on the salinity distribution. Many estuarine species in plankton and fish were found at the totally freshwater or saltwater depending on the seasons and tidal cycles. Some estuarine ichthyoplanktons showed extremely limited distributions in the estuary whereas adult fish revealed wide ranges of salinity adaptation. Critical environmental issues in the Han River estuary and its drainage basin are likely to be 1) pressure on development-promoted district for new town in the drainage area of the estuary, 2) reduction of tidal flat by reclamation, 3) pollutant input through river from municipal sewages and industrial wastes, and 4) ecological barrier between river and terrestrial systems by the military wire fence and riverside road.

Keywords : salinity distribution, Han River estuary, biological distribution, water quality, environmental issues

:: 요 지 ::

한강 하구의 염분 및 생태 환경에 관한 연구를 위하여 기존에 발표된 논문과 국립수산과학원의 국가해양환경측정망 자료를 이용하여 한강 하구의 염분 분포 특성을 구명하였으며, 염분과 관련하여 동식물플랑크톤, 저서생물 및 어류플랑크톤의 분포를 논의하였다. 염분의 시공간적 분포를 고려할 때 인천북항 주변 해역은 계절에 무관하게 연중 한강 유입수의 직접적인 영향을 받고 있으며, 담수 유입량이 많은 하계에는 팔미도 해역까지 담수 영향권이 확대되었다. 반면 해수의 직접적인 영향을 받는 상한선은 한강 본류인 경기도 김포시 고촌면 신곡리의 신곡수중보에 이르며, 해침이 상시적으로 발생하는 수역은 이보다 더 하류인 경기도 김포시 하성면 전류리로 판단된다. 동식물플랑크톤의 분포는 담수

* 국립수산과학원 서해수산연구소, E-mail : gspark@nfrda.re.kr

및 해수 지역에서 혼재되어 분포하며, 일반적으로 염분의 분포 범위보다 훨씬 광범위한 분포를 보였다. 그러나 기수성 어류플랑크톤은 매우 제한된 수역에 분포하는 반면, 성어는 그 분포범위가 담수에서 해수에 이르는 광범위한 분포를 보였다. 경험적 분석에 의한 한강하구 환경의 문제점은 1)한강 하구 및 유수지역의 개발 압력에 따른 환경 파괴, 2)갯벌 매립에 의한 조간대 상실, 3)군사용 철책에 의한 육수전이환경(陸水轉移環境)의 생태적 단절이 매우 심각하였다.

핵심용어 : 염분분포, 한강하구, 생물분포, 수질, 생태환경, 환경문제

1. 서론

하구는 해수와 담수 환경의 전이지대로서 수질 오염 저감, 홍수 조절 기능, 다양한 서식지 제공으로 인한 생물 다양성 증대 및 휴식공간으로서 그 경제적 가치는 매우 크다(McLusky, 1981). 그러나 국토확장과 육상 기인오염물의 증가 등으로 하구역은 본래의 기능을 상실하고 있으며, 새만금 사업이 예정대로 완료되면 서해안의 유일한 자연 하구는 한강 하구만이 남는 셈이다.

한강은 한반도 중앙부에 위치하며, 유역면적이 34,674km², 유로연장이 459km, 유역평균 폭이 75.5m에 이르는 남한 최대의 하천이다(건설교통부, 2001). 그중 한강 하구역은 남쪽으로는 인천광역시 강화도의 양측 수로(염하 및 석모수로) 및 경기만과 연결되어 있으며, 북쪽으로는 한강, 예성강 및 임진강이 합류되어 형성되어 있다. 따라서 한강 하구를 독자적으로 분리하는 것은 불가능하며, 대부분의 수역이 비무장 지대에 속하여 자연 환경이 잘 보전된 수역이기도 하다. 그러나 육상 환경의 외형적 보전과는 달리 수도권으로부터 유입되는 각종 오염물질 및 쓰레기 등으로 하구역의 수계환경은 점점 악화되고 있는 실정이다. 따라서 하기 언급된 내용은 그동안 많은 연구가 이루어졌던 강화도 양측 수로인 석모 및 염하수로와 김포시 및 서울시 주변 한강 본류와 강화도 남단 및 경기만에 이르는 한강 하구에 관한 내용이다. 특히 한강 본류중 잠실대교에서 김포대교에 이르는 구간은 한강종합개발사업(1982-1986)의 일환으로 하상을 굴착하고 각각의 대교 밑에 수중보를 설치하여 사업 구간내 하천의 수심이 전반적으로 상승하는 효과를 가져왔으며, 이에 따른 유속의 감소는 한강 생태계 전반에 많은 변화를 초래하였다(인하

대학교, 1990). 또한 한강 하구는 인천국제공항 및 시화호 건설 등으로 많은 조간대가 상실되었으며, 특히 한강을 통하여 유입되는 오염물질에 의해 수질 환경이 매우 열악한 실정이다(박승운 등, 1999).

따라서 본 연구는 기존의 염분 및 생물 분포 자료와 국립수산과학원의 “국가해양환경측정망” 자료를 이용하여 한강 하구역에 대한 기존 자료의 재분석 및 문헌 등을 제시하고, 특히 염분 분포에 따른 한강 하구역의 경계면 설정은 하구역 연구에 대한 기초 연구 자료로서 매우 유용할 것으로 사료된다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 국립수산과학원에서 운영중인 국가해양환경측정망에서 산출된 자료중 2000년부터 2002년까지 매년 2, 5, 8, 11월에 측정된 한강 하구 및 경기만에 해당되는 16개 정점의 자료를 중점 분석하였으며(Fig. 1), 그 동안 한강 하구를 중심으로 이루어진 연구 논문에 근거하여 한강 하구역의 염분에 따른 경계면 설정과 생태적 특성을 고찰하였다. 특히 염분 분포와 관련하여 한강 하류 및 하구의 수질 변화와 생물상 분포를 고려하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 수질 및 물리적 특성

1) 염분 분포 및 물리학적 특성

한강 하류 및 하구의 염분 분포는 주로 강수 유입량과 조석에 의하여 좌우된다. 한강 종합개발사업

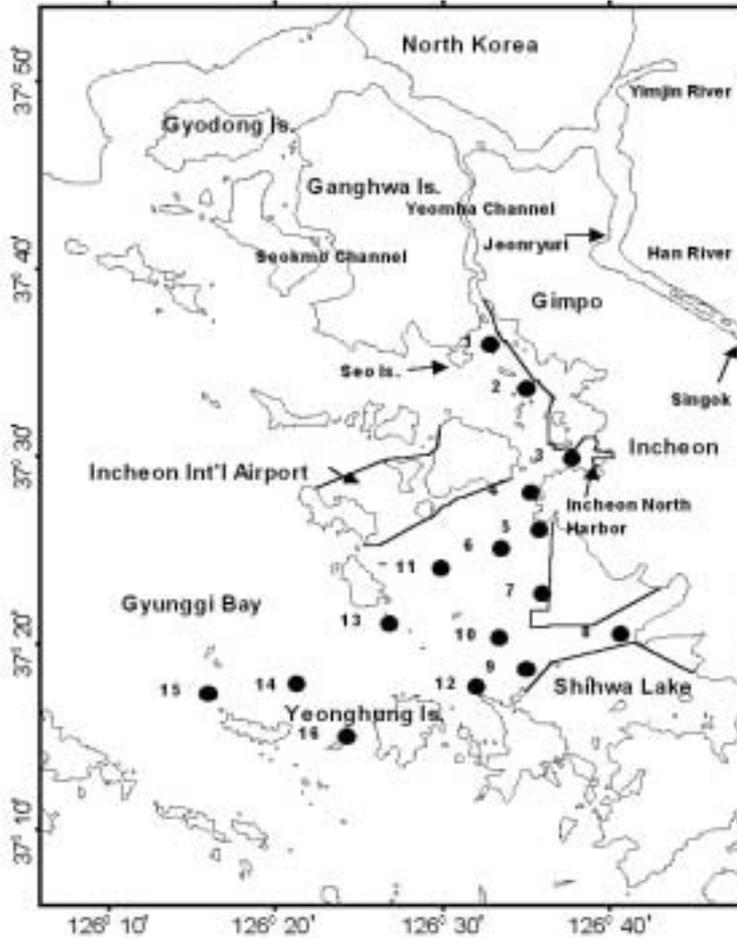


Fig. 1. National monitoring stations in the Han River estuary and Gyunggi bay in the West Sea of Korea

(1982~1986) 이전에 조사된 자료에 의하면, 노량진 및 행주에서 1966년 5~8월에 각각 15.82~35.52psu 및 12.05~20.09psu의 염분이 측정된 적이 있으며(김정균, 1972), 또한 해수가 노량진까지 역상하는 것으로 보고하였다(홍사육과 신경식, 1978; 홍순우 등, 1979). 따라서 한강종합개발 이전에는 한강의 노량진 부근까지 해수가 침입했던 것으로 사료된다. 반면 한강종합개발 이후의 연구논문에 따르면 해침 범위가 개발 이전에 비하여 신곡수중보 이하로 제한되는 것으로 사료된다. 우선 한강 하류중 최소한 13시간 이상 정선 수질 조사가 이루어졌던 김포대교 하단부에 위치한 신곡수중보에서는 해침 현상이 관측되지 않았으며, 지금까지의 조사결과, 0.5psu 이상을 초과한 적은 없다(장현도, 1989; 박경수와 이영철, 1997).

반면 경기도 김포시 하성면 전류리에서는 2000년 6월 조사 결과(김동화, 2002), 0.2~1.7psu의 염분이 검출되었으며(Fig. 2), 저자가 2003년 7월 15일(조위 919cm 인천항 기준)에 동일 장소에서 염분을 관측한 결과, 측정 시간에 따른 변화가 있으며, 최대 1.0psu가 검출되었다. 그러나 동년 7월 8일(조위 732cm 인천항 기준)에는 염분이 전혀 검출되지 않은 점으로 미루어 경기만의 조차가 큰 시기에는 한강 상류로부터 담수 유입량이 많아도 여전히 해수가 침입하고 있는 상태이다.

또한 실제 김포대교 하단에서 송어, 황복, 잉어, 메기 및 뱀장어 등을 어획하고 있는 점으로 미루어(현장탐방 조사결과) 최소 김포대교 하단까지는 해침 현상이 있는 것으로 사료된다. 그러나 일반적으로 한강 하류 및 하구의 동식물플랑크톤 및 어류 분포로 볼 때 실제 해수

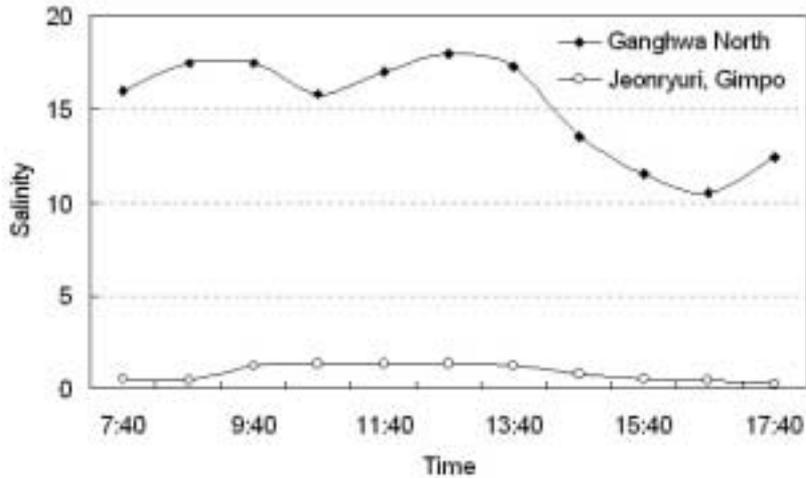


Fig. 2. Hourly variation of salinity in Gimpo and Ganghwa, Han River estuary in June, 2001(redrawn based on 김동화(2002))

가 침입하는 범위보다 훨씬 더 광범위한 분포를 보인다 (정영호와 심재형, 1969). 또한 해침 현상은 갈수기와 홍수기에 따라 그 범위가 달라지며, 이와 더불어 경기만의 조석 및 조위 변화 등에 의해서도 달라질 수 있다. 또한 현재 김포 평야 일대의 농업용수 공급이 수중보 상단에서 이루어지고 있으며 수중보 하단에서는 이루어지고 있지 않다는 사실이 이를 뒷받침하고 있다. 따라서 경기만의 조석 현상에 따른 염분의 직접적인 영향은 신곡 수중보 하단까지 이르는 것으로 판단된다.

또한 행주대교 부근의 신곡수중보 상단 및 잠실대교 하단에서 각각 13시간동안 정선 관측한 결과(1988년 5월과 8월), 양쪽 모두 염분의 변화는 관측되지 않았다. 반면 유향은 잠실대교 하단은 13시간 동안 일방향 흐름(한강 상류에서 하류로)을 보인 반면, 신곡 수중보 상단에서는 약 2시간 정도의 역류 현상이 관측되었으며(박경수와 이영철, 1997), 경기만의 조석이 잠실대교 하단까지 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다(서경석, 1986). 따라서 상기 두 연구논문에서 근거한 결과, 비록 잠실대교 부근에서는 유향의 역전 현상은 관측되지 않았으나 경기만 조석이 한강의 수심에는 영향을 미치는 것으로 사료되어, 감조수역의 최상단은 잠실대교 하단의 수중보 하류 수역으로 판단된다.

반면 한강 및 임진강 등에서 유입된 담수의 직접적인 영향 범위의 최남단 한계는 강화도 남단에 위치한 세어

도(37° 34' N)로 보고 되었다(인하대학교, 1990). 실제로 강화대교 하단, 석모수로 중간 및 세어도 수역에서 측정된 염분 자료를 보면, 강수 유입이 적은 시기에는 염분 변화가 크지 않으나 강수 유입이 많은 우기에는(주로 8월) 조석에 따라 염분 차이가 2배를 초과한다(Fig. 3). 또한 강화대교 하단의 8월 염분은 2.83~8.20psu로 담수 지배적인 환경을 보인다(Park과 Han, 1997). 한강으로부터 배출되는 담수가 경기만으로 유입되는 과정은 강화도 양측 수로 및 상단의 교동 수로를 통하여 이루어지고, 특히 강화도 동측에 위치한 석모수로 및 교동 수로가 서측에 위치한 염하수로보다 더 많은 영향을 받는 것으로 밝혀졌다(김영택, 1990). 한편 또 다른 연구에 따르면 한강 하구를 침강하천유역형(drowned river valley) 하구로 정의하고, 염분분포에 근거한 한강 하구의 범위를 김포시 하성면 전류리에서 경기만의 팔미도로 한정하였다(정영호와 심재형, 1969).

Table 1은 한강 하구에 대한 가장 장기간의 모니터링을 수행한 국립수산물과학원의 연 4회 16개 정점에서(Fig. 1), 2, 5, 8, 11월에 측정된 모니터링한 자료를 인용하여 분석한 결과, 강수량이 많은 여름철(8월)에는 다른 계절에 비하여 경기만 전체 평균 염분이 약 3~4 psu정도 낮게 나타나고 있으며, 특히 한강 하구의 세어도 부근에 위치한 정점 1의 경우에는 계절에 무관하게 타 정점에 비하여 낮은 값을 보였다(Fig. 4). 한강 하구

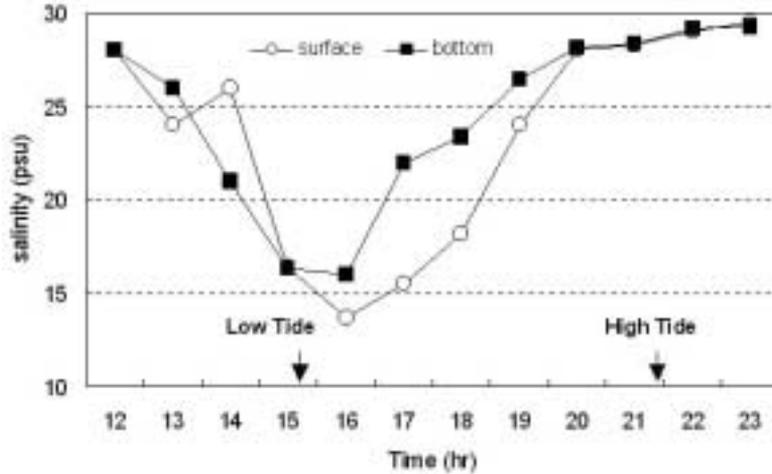


Fig. 3. Hourly variation of salinity in the Han River estuary in August, 1999(redrawn based on Park과 Han, 1997)

역에서 경기만 입구에 이르는 총 16개 정점에서 2000년부터 2002년까지 4계절에 측정된 염분 자료의 정점별 평균(Fig. 5)을 이용하여 한강에서 유입되는 담수가 미치는 영향 범위를 산정한 결과, 정점 1, 2, 3은 한강에서 유입되는 담수의 직접적인 영향으로 인하여 타 정점에 비하여 염분이 낮은 것으로 판단된다. 각 정점의 위·경도 및 위치는 정점 1은 37° 35' 30" 126° 33' 40" 세어도 남방, 정점 2는 37° 32' 15" 126° 35' 10" 운검도 동방, 정점 3은 37° 29' 28" 126° 37' 14" 인천북항 인근 해역이다. 상기 결과는 국립수산과학원의 국가해양환경측정망 정점으로서 측정 시간은 만조 ±2시간 이내에 이루어지므로 간조 측정시에는 더 낮은 염분이 검출되며 그 범위도 지금보다 확대될 수 있다. 상기 자료에 의한 담수의 영향 범위는 최소한 인천 북항 전면 수역까지는 계절에 무관하게 직접적인 영향을 받고 있음을 의미한다. 그러나 담수 유입량이 많은 여름철에는 경기만 전역이 한강 유입수의 직접적인 영향을 받고 있으며, 서쪽으로는 자월도, 남쪽으로는 대부도 아래 수역에서만 30 psu 이상의 염분을 보인다. 따라서 국립수산과학원의 모니터링 자료에 의한 염분 분포에 따른 한강 유입수의 직접적인 영향 범위에 의한 한강 하구역의 담단 한계는 갈수기에는 인천광역시의 북항 전면 수역까지, 풍수기인 여름철에는 서측으로는 자월도 남측으로는 대부도 및 영흥도에 이른다. 국립해양조사원의

경기만 조류도에 따르면 강화도 양측 수로와 연관된 한강 유입수의 주요 흐름 방향은 염하수로 - 인천항 전면 수역 - 팔미도 - 자월도 - 승봉도 방향과 서측으로는 석모수로 - 장봉도 서측 - 덕적도 서측 방향이 주요 조류 방향이다(국립해양조사원, 1997). 따라서 한강 하구의 남서측 경계면은 상기 조류 방향을 경계면으로 설정하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

반면 임진강의 기수 구역 설정은 측정된 염분 자료의 부족으로 정확한 구역을 설정할 수는 없으나 최소한 경기도 파주시 장단면 거곡리 나루터에서 2000년 8월1일에 측정된 결과 약 0.9psu가 검출되었으며, 2001년 1월 27일에는 1.8psu의 염분이 검출되었고, 그보다 더 상류에서는 염분이 검출되지 않았다(이경과 윤숙경, 2002b). 따라서 임진강 역시 한강과 마찬가지로 담수의 유입량에 의하여 염분 변화가 급격한 것으로 사료되며, 반면 임진강은 한강에 비하여 수로가 좁고 수량이 많지 않은 관계로 해수의 침입 상한경계면이 한강보다는 더 하류에 위치할 것으로 사료되어 대부분의 수계가 담수 지배적 환경으로 판단된다.

지금까지의 연구 및 조사 결과를 종합하면 해수의 침입 범위는 한강 본류의 담수 유입량 및 경기만의 조석강도에 따라 일정하지 않은 것으로 사료된다. 그러나 지금까지의 연구 결과를 통한 해침 경계면의 상한은 김포대교 하단에 위치한 신곡수중보로 규정하는 것이 합

Table 1. Monthly variation of water quality parameters as a mean of 16 stations in the Gyunggi bay in 2002

month	layer	water temperature (°C)	salinity (psu)	pH	DO (mg/L)	COD (mg/L)	DIN (mg/L)	DIP (mg/L)	SS (mg/L)	chlorophyll (ug/L)
Feb	Surface	2.4	30.91	7.91	10.06	1.69	0.453	0.029	57.3	1.46
	Bottom	2.7	30.88	7.94	10.10	1.88	0.402	0.030	-	-
May	Surface	13.3	30.05	7.99	8.67	1.63	0.392	0.022	51.9	1.73
	Bottom	12.8	30.80	8.04	8.62	1.41	0.328	0.021	-	-
Aug	Surface	25.1	26.87	7.91	6.43	1.55	0.624	0.029	22.7	3.99
	Bottom	24.5	27.72	7.89	6.12	1.48	0.537	0.031	-	-
Nov	Surface	14.0	30.08	7.93	7.17	1.15	0.631	0.042	57.6	1.58
	Bottom	14.1	30.12	7.96	7.08	1.11	0.444	0.045	-	-

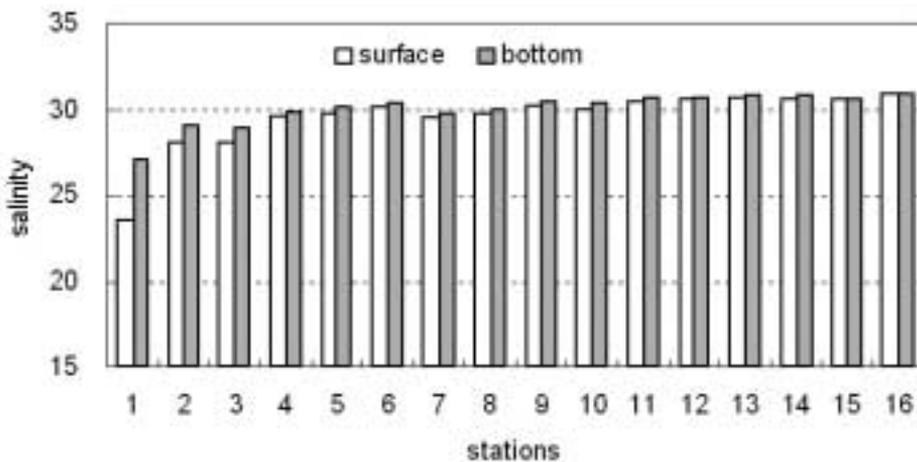


Fig. 4. Annual mean salinities by stations in the Han River estuary and Gyunggi bay from 2000 through 2002.

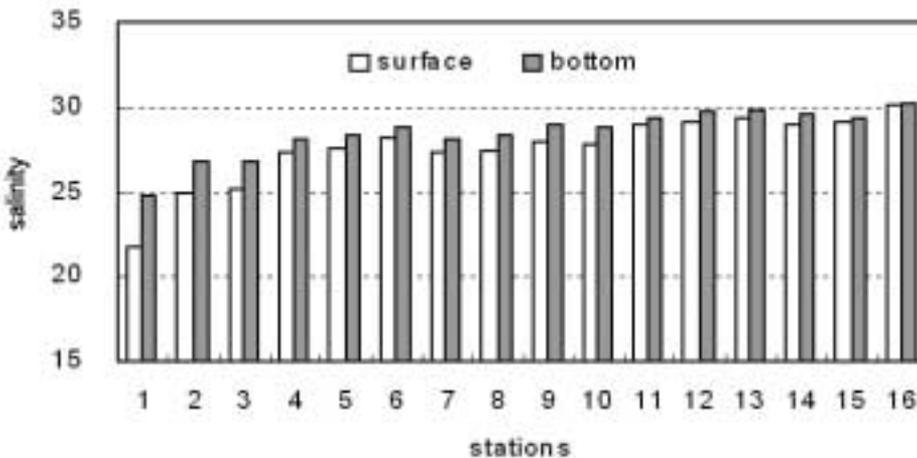


Fig. 5. Annual mean salinities by stations in the Han River estuary and Gyunggi bay in summer 2000-2002.

리적인 것으로 사료되며, 한강 및 임진강에서 유입되는 담수의 직접적인 영향 범위는 인천광역시 용진군의 영

흥도 남단 수역으로 판단된다. 상기 경계면은 조석 및 한강 본류의 담수 유입량을 고려한 최대 범위이다. 반

면 지금까지의 조사 결과를 종합하면 일상적으로 해수가 침입하는 범위는 경기도 김포시 하성면 전류리로 정하는 것이 타당하며, 한강으로부터 유입되는 담수가 상시 직접적인 영향을 미치는 하한은 인천광역시의 북항전면 수역으로 보는 것이 타당하다. 또한 경기만의 조석에 영향을 미치는 범위는 행주 대교 상부에서는 유향의 역전이 발생할 정도로 강하며, 최대 잠실대교 부근의 수위를 변화시키는 것으로 판단된다. 따라서 감조수역의 최상단은 현재 잠실대교 하단에 위치한 잠실 수중보까지로 사료된다.

2) 한강 하구 및 하류의 일반 수질

한강 하류의 전반적인 수질은 강우량과 직접적인 관계가 있으며, 또한 상류로부터 이격 거리에 따라서도 다르게 나타난다. 일반적으로 한강 하류의 수질은 희석효과에 의하여 갈수기보다는 풍수기때 좋아지며, 하류로 갈수록 수질이 악화되는 경향을 보인다(박경수와 이영철, 1997; 김동화, 2002). 한강 하류의 수질에 관한 연구는 대부분 서울시를 포함하는 수역과 하류로는 현재 김포대교 부근 수역을 경계로 많은 연구가 이루어졌다. 우선 독섬에서 행주대교에 이르는 한강 하류 및 하구의 용존산소 분포를 보면(1989년 2월 측정자료), 독섬부근에서는 약 15mg/L로 과포화상태이나 행주대교 하류의 신곡수중보에서는 약 1.5mg/L로 저산소 상태를 보인다

(Fig. 6). 이와 같은 경향은 추후 언급되는 영양염류 및 화학적 또는 생물학적산소요구량도 유사하다. 따라서 한강 하류 및 하구의 수질은 하류로 갈수록 악화됨을 알 수 있다. 특히 갈수기에 신곡수중보 상류는 수중보로 인한 물의 흐름이 제한되어 누적된 유기물이 분해되면서 다량의 산소가 소모되고 이에 따른 저산소 상태(hypoxia)로 인하여 수서호흡생물(특히 어류)의 분포를 제한할 수 있는 것으로 사료된다. 반면 신곡수중보 하단인 한강 하구역은 특별히 물의 흐름을 방해하는 구조물이 없고 또한 경기만의 조석에 따른 왕복성 흐름이 형성되어 비교적 양호한 용존산소를 보이는 것으로 사료된다. 실제 국립환경연구원의 모니터링 정점인 신곡수중보 하단에서 용존산소는 3.5~9.8mg/L(2002년 1~12월 매월 측정)의 범위를 보인다. 이 중 갈수기이며 수온이 높은 시기에는 4.0mg/L 이하의 저산소 현상을 보이거나 신곡수중보 상류보다는 양호한 것으로 나타났다(Fig. 7). 따라서 한강 하류 및 하구의 용존산소는 극히 정체가 심한 수중보 상단과 강수량이 적은 고온기에는 4ppm 이하의 저산소 현상을 보이는 것을 제외하고는 생물의 서식을 제한할 정도는 아닌 것으로 사료된다.

반면 강화도에서 경기만에 이르는 한강 하구역에서는 어느 시기에도 저산소나 빈산소 현상은 관찰되지 않았다. 국립수산과학원의 모니터링 정점중 강화도 남단의 세어도 부근에 위치한 조사 정점의 자료에 따르면 하계

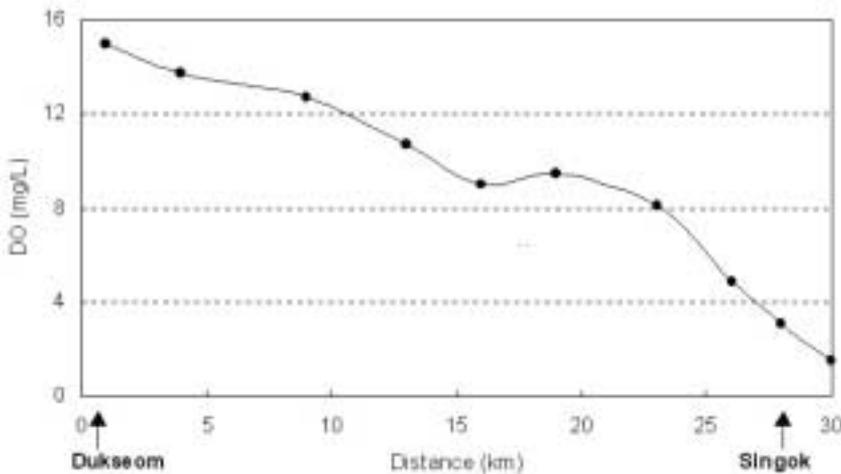


Fig. 6. Changes of dissolved oxygen from the upper(Dukseom) through lower(Singok) Han River in February, 1989(redrawn based on 박경수와 이영철, 1997)

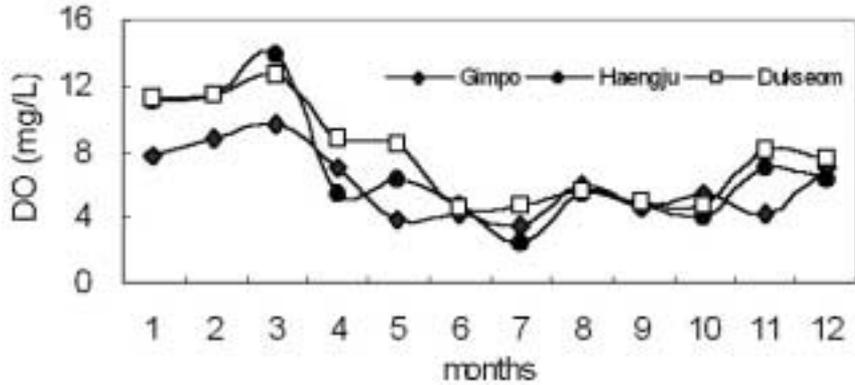


Fig. 7. Monthly variation of dissolved oxygen in the upper(Dukseom) and lower(Gimpo and Haengju) Han River in 2002(data from NIER)

와 동계의 용존산소는 수온차로 인한 용존산소 용해도의 변화로 큰 차이가 있지만 하계에도 최소 5.6mg/L 이상이 유지되며, 동계에는 10.0mg/L 이상이 검출되어 용존산소로 인한 수서 호흡 생물의 제한은 없는 것으로 판단된다. 따라서 경기도 고양시 및 김포시에서 인천광역시 강화도 및 경기만에 이르는 한강 하구역에서 용존산소 부족으로 인한 어류 및 기타 유용 수산 생물의 대량 폐사 현상은 없는 것으로 사료되며, 또한 용존산소의 부족으로 인한 생물의 분포를 제한할 정도의 저산소 및 빈산소 현상은 관측되지 않았다. 이와 같은 현상은 상기 수역이 조석 현상에 의하여 주기적인 왕복성 조류를 형성하고 또한 유속이 강하여 물의 수직 혼합 및 대기와의 접촉이 용이하기 때문으로 생각된다. 반면 한강 하구의 상부 경계면인 신곡수중보 상단부는 고수온기의 갈수기 때는 저산소 현상이 발생하는 것으로 사료된다(박경수와 이영철, 1997).

또한 한강 하류 및 하구의 총 3개 정점에서 측정된 국립환경연구원(NIER)의 모니터링 자료를 이용하여 한강 하류 및 하류 인접 하구역의 생물학적산소요구량(BOD), 화학적산소요구량(COD) 및 영양염류의 자료를 분석하였다(Fig. 8). 정점의 위치는 독섬(서울시 성동구 성수동 성수대교 하단), 행주(경기도 고양시 행주외동 행주대교) 및 김포(경기도 김포시 고촌면 신곡리 신곡수중보 하단)이다. BOD 및 COD는 한강 하류 및 하구역 중 김포 부근에서는 뚜렷한 연변화를 관찰할 수 없었으나 90년대 초반에 비하여 다소 감소하는 경향을 보였

다. 지역적으로는 한강 하류인 독섬은 김포나 행주에 비하여 BOD 및 COD가 약 1/2 정도였으며, 한강 하구역인 김포는 행주에 비하여 약 1ppm 정도 더 높은 값을 보였다. 따라서 한강 하류 및 인접 하구의 수질은 하류쪽으로 갈수록 매우 열악한 것으로 사료된다. 또한 상기 수치는 BOD 기준으로 하천수질 V 등급중 행주와 김포는 III-IV 등급, 독섬은 III 등급에 해당된다. 반면 총질소(TN) 및 총인(TP)은 연도별로 뚜렷한 증가 양상을 보인다. 특히 1990년대 초반부터 2000년대 초반까지 약 10년 동안 2~3배의 증가를 보여 심각한 무기영양염류의 증가를 보이고 있다(Fig. 8). 특히 총질소는 꾸준한 증가 양상을 보이고 있으며, 총인은 연도별로 큰 변동폭을 보여 안정된 하구 환경을 위해서는 두 요소 모두 조절해야할 인자로 사료된다.

또한 2002년 상기 3개 정점에서 매월 측정된 자료를 분석한 결과, BOD와 COD는 3월 및 4월을 제외하고는 비교적 균일한 양상을 보인 반면, TN과 TP는 하계에는 낮은 값을 그리고 나머지 계절에는 상대적으로 높은 값을 보였다(Fig. 9). 이와 같은 현상은 하계에 집중되는 강우에 의하여 비교적 양질의 담수가 혼합되면서 일시적으로 수질이 호전되기 때문으로 사료된다. 따라서 한강 하류 및 인접 하구의 시공간적 수질은 강수량 및 정점의 위치에 좌우되는 것으로 사료된다.

반면 강화도 양측 수로 및 남단 수역과 해수 침입이 빈번한 김포시 전류리 부근은 한강 하류와 인접한 신곡수중보 하단부와는 전혀 다른 수질을 보인다. 상기 수역

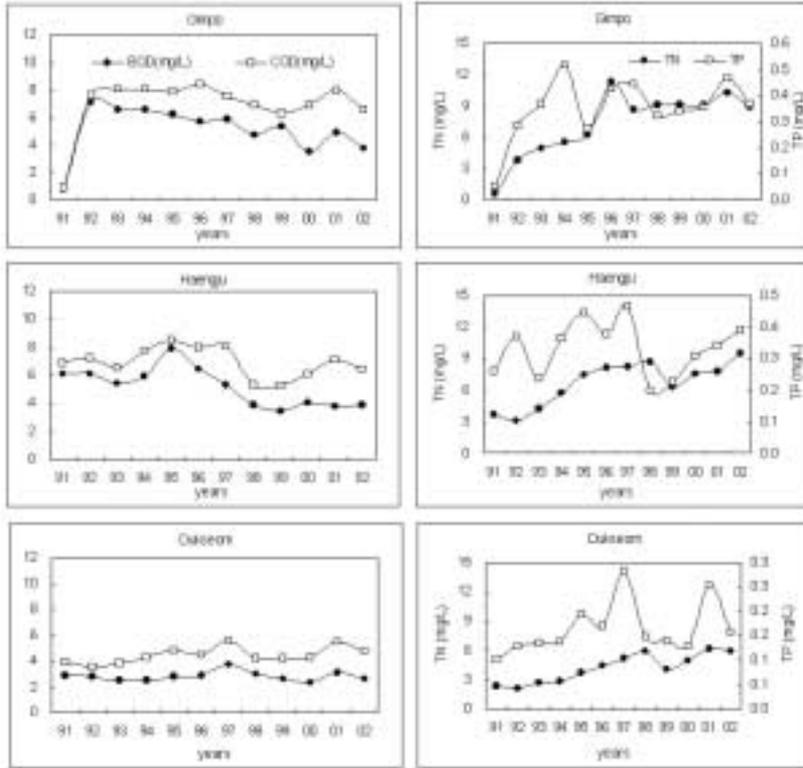


Fig. 8. Annual variation of water quality in the Han River(data from NIER)

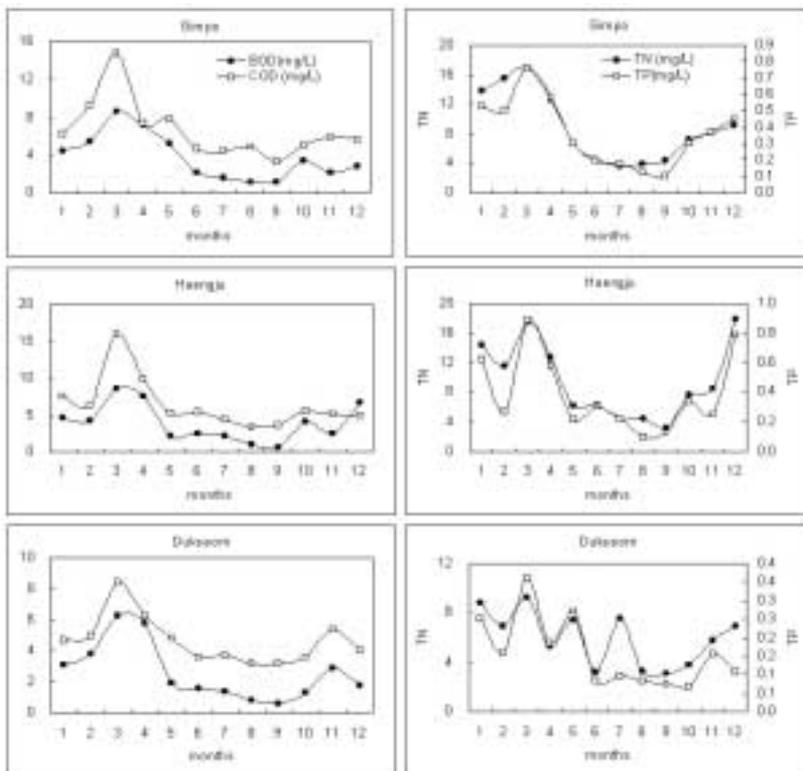


Fig. 9. Monthly variation of water quality in the Han River in 2002(data from NIER)

에서의 조사 결과에 따르면, 김포시 하성면 전류리 및 강화도 부근 해역에서 영양염류인 용존무기질소(DIN)의 농도는 각각 1.40~8.40mg/L 및 1.40~2.80mg/L로 큰 차이를 보였다. 인산인 역시 각각 0.09~0.18mg/L 및 0.03~0.06mg/L로 두 지점간에 큰 차이를 보였다(김동화, 2002). 상기 농도는 모두 하계에 측정된 농도이며, 동계에 측정된 농도는 김포시 전류리의 경우 약 1.5배정도 높았다. 반면 강화도 부근 수역은 계절에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 한강 유입수와 경기만의 해수가 혼합되는 한강 하류와 인접한 한강하구에서는 해수의 침투 범위 및 담수 유입량에 따라 수질이 좌우되는 것으로 사료된다. 즉 해수의 침투량이 많고 유입되는 담수가 많은 시기에는 일시적으로 수질이 호전되며 나머지 시기에는 악화되는 것으로 생각된다. 따라서 한강 하구의 수질은 염분과 역상관관계를 보인다(박승윤 등, 1999; Park과 Han, 1997).

한강 하구역중 비교적 해수의 혼합 비율이 높은 강화도 남단 수역은 전형적인 해수 환경의 농도를 보인다.

국립수산과학원의 모니터링 자료를 분석한 결과(Fig. 10), COD 및 DIN(용존무기질소)의 연변화는 약간 감소하는 경향을 보였으나, 인산인(DIP)은 꾸준한 증가 추세를 보였다. 또한 월별 변화의 경우는 용존무기질소만 하계에 급증하는 경향을 보였으며 나머지 항목은 뚜렷한 월변화를 보이지 않았다.

3) 한강 하구 및 하류의 중금속 분포

한강 하류 및 하구의 중금속 농도에 관한 연구는 매우 제한적이다. 그러나 기존의 조사 자료를 분석한 결과 한강 하류에 접한 하구의 중금속 농도는 경기만에 위치한 해수 지배적 한강하구에 비하여 매우 높은 농도를 보였다(Table 2). 이와 같은 현상은 담수에 분포하던 다량의 중금속이 해수와 반응하여 착염현상을 일으키므로서 담수중의 중금속이 대부분 제거되기 때문으로 사료된다(박경수 등, 1999). 따라서 해수 지배적인 한강 하구역의 중금속 농도는 일반적으로 해양환경에서 검출되는 농도 이내에 분포하여 크게 문제되지 않는 것으로 사료

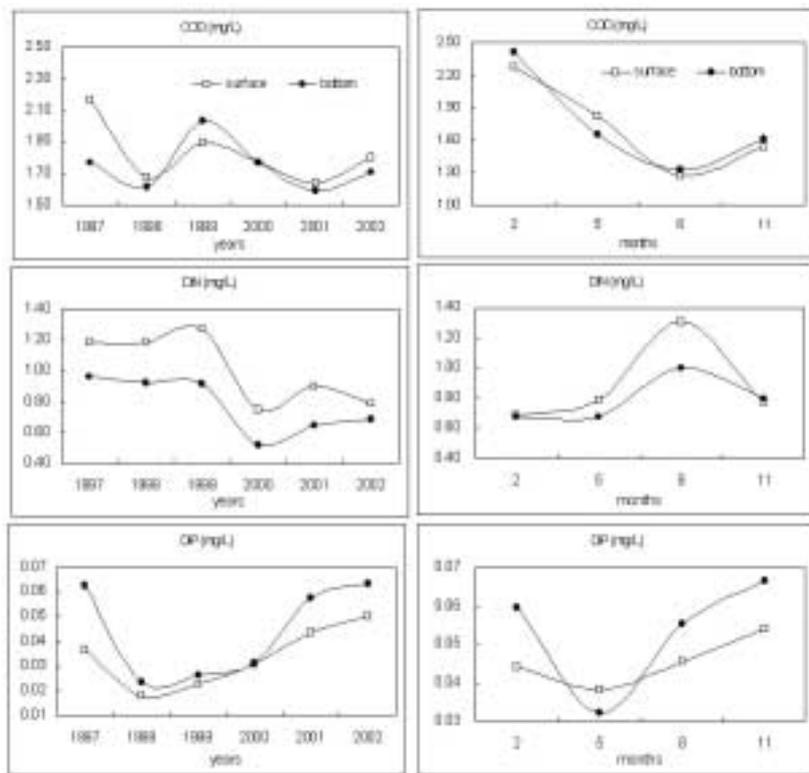


Fig. 10. Temporal variation of water quality in the Han River estuary(data from NFRDI)

된다. 반면 담수 지배적 수계에서는 측정 시기 및 방법 등에 따라 많은 차이를 보이고 있어 자료의 절대적 비교가 어려운 실정이다(Table 2). 그러나 담수에 분포하는 대부분의 중금속은 기수역에서 해수와 혼합되면서 많은 양이 제거되기 때문에 기수역에서 수층내의 중금속 오염은 크게 문제되지 않는 것으로 사료된다. 그러나 이와 같이 제거된 중금속은 퇴적물에 축적되어 분해되지 않은 채 장기간 존재하게 된다. 특히 해수 지배적 한강 하구인 경기만 수역은 퇴적물이 세립질로 구성되어 있고 또한 유기물 함량이 높아 다량의 중금속을 축적하게 된다(Moore와 Ramamoorthy, 1984). 이와 같이 퇴적물에 축적된 중금속은 경기만에 다량 분포하는 패류 및 기타 퇴적물식자에 의하여 체내에 축적되고 또한 먹이 사슬을 통하여 인간에 영향을 미치게 된다. 따라서 비록 수층내 중금속 농도가 낮다고 할지라도 중금속 및 기타 독성물질의 수계내 유입을 엄격히 제한하여야 한다.

4) 한강하구 수질환경의 문제점

우선 한강하구는 한강 하류와 직접 연계된 담수 지배적 수역과 강화도 부근 및 경기만을 포함하는 해수 지배적 수역으로 대분하여 각각의 수역에 대한 문제점을 파악하였다. 우선 한강 하류와 연계된 하구역은 해수보다는 담수 지배적 환경으로서 평가 기준 및 방법 등이 하천수질 기준 등에 의하여 평가되어야 할 것으로 사료된다. 우선 한강 하구의 시작부분으로 지정된 신곡수중보에서의 수질은 그 이하, 즉 김포시 전역의 한강 하구 수질과 큰 차이가 없는 것으로 사료된다. 다만 경기만 조석의 영향에 의한 해수의 침입 범위에 따라 즉 담수와 해수가 희석되는 비율에 따라 수질 변화가 발생할 것으로 예상된다. 따라서 한강 하구중 하류와 인접한 수역의 문제점은 한강 하류의 수질과 연계하여 제시하는 것이 타당할 것으로 생각된다. 한강하구는 지역적으로 김포, 강화도 북단 및 경기만으로 구성되어 있다. 이

Table 2. Heavy metal concentrations in the Han River and its estuary

metals	ranges(ppb)	survey time	locations	reference
cadmium	ND-2.4	1995/6,7,10 1996/1,5,6	Bam Is.-Anyangcheon	(한영희 등, 1997)
	ND-100.0 (mean40.0)	1977/5-12 1978/1-5	Paldang Br.-Haengju Br.	(홍순우 등, 1979)
	0.227±0.170	1978-1979	Haengju Br.	(Nakane와 Hong, 1983)
	18.0±3.7	1980/10	Haengju Br.	(홍사육과 경춘호, 1983)
	0.078	2002/2	Ganghwa Is.	저자(미발표)
zinc	19.5-140.0	1995/6,7,10 1996/1,5,6	Bam Is.-Anyangcheon	(한영희 등, 1997)
	89.0-682.0 (mean 226.0)	1977/5-12 1978/1-5	Paldang Br.-Haengju Br.	(홍순우 등, 1979)
	53.87±41.19	1978-1979	Haengju Br.	(Nakane와 Hong, 1983)
	10.69	2002/2	Ganghwa Is.	저자(미발표)
lead	2.2-36.1	1995/6,7,10 1996/1,5,6	Bam Is.-Anyangcheon	(한영희 등, 1997)
	1.0-67.0 (mean 65.0)	1977/5-12 1978/1-5	Paldang Br.-Haengju Br.	(홍순우 등, 1979)
	26.93±17.04	1978-1979	Haengju Br.	(Nakane와 Hong, 1983)
	0.40	2002/2	Ganghwa Is.	저자(미발표)
copper	7.0-546.0 (mean 65.0)	1977/5-12 1978/1-5	Paldang Br.-Haengju Br.	(홍순우 등, 1979)
	40.00±5.4	1980/10	Haengju Br.	(홍사육과 경춘호, 1983)
	19.34±15.07	1978-1979	Haengju Br.	(Nakane와 Hong, 1983)
	1.59	2002/2	Ganghwa Is.	저자(미발표)

중 염분 분포를 고려할 때 김포는 담수 지배적 하구이고, 강화도 북단은 기수역, 그리고 경기만을 해수 지배적 하구이다. 그러나 한강 하구역의 수질은 전적으로 해수의 희석 정도에 좌우되므로 한강 하구역중 그 위치에 따라 수질이 좌우된다. 즉 김포의 수질과 경기만의 수질은 해수의 희석 비율에 따른 염분차이로 인하여 전혀 다른 양상을 보인다. 따라서 하구역의 환경 기준을 해수 또는 담수로 일관화하는 것은 많은 문제점을 가진다. 국내 수질환경기준은 해수와 하천으로 이분되어 있으며, 또한 기준 항목 및 농도도 매우 상이하다. 심지어 동일한 항목을 적용한다하여도 담수는 해수에 비하여 훨씬 높은 농도를 보이므로 이를 일관성있게 표현하는 것은 많은 문제점을 내포한다. 예로서 한강 하구중 행주대교 및 김포대교 부근의 수질은 2002년 1월부터 12월까지 매월 측정된 자료의 평균으로 볼 때 COD 농도는 각각 6.4ppm 및 6.6ppm이었으며, 반면 강화도 남단에 위치한 세어도 부근의 한강하구에서는 1.8ppm으로 담수 지배적 하구역보다는 매우 낮은 값을 보인다. 따라서 하구역의 수질 기준을 설정할 때는 염분을 반드시 고려하여야 할 것으로 사료된다. 이를 위해서는 우선적으로 상기 수역에 대한 최소 1년 4차례의 계절별 조사를 하여(13시간 이상 정지관측) 각각 수역별로 평균 염분을 설정한 후 염분 범위에 적합한 수질 기준을 적용하여야 할 것으로 생각된다.

그러나 한강 하구역중 타 지역에 비하여 강화도 북단은 비무장지대인 관계로 염분 자료가 전무한 실정이다. 따라서 상기 수역은 추론에 근거하여 한강하구의 수질 기준 적용은 경기도 김포시를 포함하는 담수 지배적 한강 하구는 하천수질기준을 적용하는 것이 바람직하며 그 범위는 김포시 신곡수중보에서 김포시 하성면 전류리까지로 하는 것이 타당할 것으로 생각된다. 전류리는 상시 해침현상이 발생하고 있으나 염분이 매우 낮아 평균적으로 1~2psu 정도인 것으로 사료된다. 따라서 상기 수역 역시 하천수질기준의 적용이 타당하다. 반면 경기만을 포함하는 강화도 남단에서 대부분에 이르는 수역은 여름철 평균 염분이 20psu 이상을 보이는 해수 지배적 환경이므로 해역수질기준 적용이 타당하다. 마

지막으로 강화도 북단 해역은 조사 자료의 부족으로 염분 분포 범위를 파악할 수는 없으나 경기만의 조석 강도, 담수 유입량 및 해역의 규모 등을 고려할 때 염분 범위가 약 10~20psu의 해수 지배적 환경이다. 따라서 김포시 하성면 전류리를 중심으로 그 북단은 하천수질 기준을 그리고 그 하단은 해역수질기준을 적용하는 것이 타당할 것이다.

한강 하구중 신곡수중보에 위치한 국립환경연구원의 모니터링 자료를 분석한 결과, 한강 하류와 인접한 하구역의 수질은 한강 하류보다 더 불량하며, 그 범위는 해수의 침입이 극히 제한되는 수역으로 한정된다. 실례로서 신곡수중보 상부인 행주와 하부인 김포의 BOD 농도는 각각 4ppm 이하와 그 이상이다. 그러나 장기변동 양상은 90년대 중반 이후로 점차 양호해지는 경향을 보이고 있다. 반면 영양염류의 경우 지난 10년 사이에 약 2~4배의 증가를 보였으며 상기 양상은 주요 무기염류인 질소와 인 모두에 해당되어 심각한 부영양화를 초래하고 있다. 이러한 현상은 상류보다는 하류 및 하구쪽으로 갈수록 증가현상이 뚜렷하며, 행주의 경우 90년대 초반에 총질소가 3ppm에서 2000년 초반에는 9ppm으로 증가한 반면 더욱더 하류쪽에 위치한 김포에서는 0.5ppm에서 9ppm으로 급격한 증가를 보이고 있다. 총인 역시 하류 및 하구에서 급격한 증가 양상을 보이고 있어 BOD 및 COD가 다소 감소하는 양상과는 반대의 경향을 보였다. 따라서 한강 하류와 인접한 한강 하구역의 수질은 무기영양염류를 제어할 수 있는 수질 대책이 수립되어야 할 것으로 사료된다. 특히 김포시 신곡리에 설치된 수중보는 한강 하구의 흐름을 저해하여 정체수를 형성하므로써 수질 오염을 악화시키는 원인이 되고 있다.

반면 경기만과 연계된 한강 하구역은 해수중의 유기물질 및 무기영양염류의 농도가 일반적인 해수에 비하여는 다소 높지만 절대 농도 측면에서는 크게 문제가 되지 않는 비교적 양호한 상태이다. 그러나 90년대 후반부터 인산인(phosphate)의 농도가 증가하는 경향을 보이고 있는 점이 우려되는 사항이다. 특히 경기만과 인접한 한강하구 및 인천연안 오염부하량의 70% 이상

이 육상 기원이며(인천광역시, 1998), 따라서 경기만 수역의 한강 하구역은 한강에서 유입되는 담수에 의하여 수질이 좌우된다. 상기 수역에서 질소계 영양염류 특히 육상 기원인 암모니아 농도와 염분 사이에 유의적 역상 관계가 있고, 그 원인은 한강 하구에서 질소계 영양염류의 주 유입원이 육상 기원이기 때문이다(Park과 Park, 2000). 따라서 상기 수역의 수질 문제중 가장 우려되는 사항은 질소계 영양염류의 상대적 비율이 매우 높다는 점이다. 일반적으로 해양환경에서 N/P는 16 정도로 균형을 이루고 있다. 따라서 N/P가 16을 초과할 경우는 인이 제한요소로 작용하며, 그 반대일 경우에는 질소가 제한요소로 작용한다. 그러나 갈수기인 겨울과 가을에는 경기만의 평균 N/P가 18~30 정도이나 풍수기인 여름철에는 60~190 정도로 매우 높은 값을 보인다(박승운 등, 1999). 이는 풍수기에 유입되는 다량의 담수에 의하여 질소계 영양염류가 대량으로 유입되기 때문에 사료된다. 그러나 지금까지는 상대적으로 인의 농도가 낮은 관계로 다량으로 유입되는 질소가 그 효과를 발휘하지 못했으나 상기 Fig. 10에서 보듯이 무기인의 연간 증가 양상이 뚜렷하여 담수를 통해 유입되는 질소계 영양염류가 생물동화에 이용될 경우 식물플랑크톤의 대량 증식으로 이어질 가능성이 매우 높다. 그러나 경기만 및 강화도 지역의 한강하구는 해수 지배적 환경이며, 서해안 특유의 빠른 조류와 큰 조차로 인하여 유입된 오염물의 체류시간이 매우 짧아 씻김(flushing) 효과가 매우 크다. 따라서 한강 하류에 인접한 하구와 경기만 부근의 한강 하구중 우선적으로 수질 관리에 임해야 할 곳은 한강 하류에 인접한 하구로 생각된다. 특히 오염에 대한 최대의 해결책은 희석이라는 말이 있듯이(Solution to Pollution is Dilution) 수질 오염 관리 측면에서 한강 하구의 가장 큰 장점은 빠른 조류와 큰 조차로 인한 짧은 체류시간에 있다. 이와 같은 현상으로 인하여 경기만 조석의 영향을 직접적으로 미치는 한강 하구역은 다량의 오염물이 유입되어도 해수에 의한 희석 효과와 조류에 의한 빠른 제거로 최소한 정체로 인한 부가적 수질 악화를 막을 수 있다. 따라서 현재 한강 하구에 설치되어 있는 수중보와 같은 물

의 흐름을 저해하는 구조물은 수질 오염 관리 측면에서 제거되어야 하며, 원천적으로 한강수계 내로 영양염류의 유입을 차단하여야만 한강 하구의 수질 개선 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

나. 생물상 분포

1) 식물플랑크톤

한강 하류에서의 식물플랑크톤은 비교적 광범위한 수역에 걸쳐 조사한 자료를 인용하여 분포 양상을 구명하였다(김정균, 1972; 정영호와 심재형, 1969; 유광일과 임병진, 1991; 이진환과 장만, 1997; 김용재 등, 1998; Hyun 등, 2001). 팔당에서 행주까지 조사한 자료에 따르면 출현한 총 190종중 규조류인 *Asterionella gracillima*, *Diatom vulgare*, *Melosira granulata* v. *angustissima*와 남조류인 *Anabaena menderi*, *Lyngbya contorta*, *Micropcystis aeruginosa*, 그리고 녹조류인 *Actinastrum hantzschii* v. *fluviatile*, *Dictyosphaerium pulchellum*가 우점하는 것으로 밝혀졌다(유광일과 임병진, 1991). 또한 행주 부근 수역의 조사에 따르면 출현한 식물플랑크톤중 행주에서 약 27%가 해산종으로 구성되어 있어 여전히 행주부근은 해수의 영향이 있는 것으로 생각된다(정영호와 심재형, 1969). 또한 팔당댐에서 행주대교에 이르는 구간에서의 기초생산력 측정 결과, 평균 1,865(140-4,890)mgC/m²/d로 전형적인 부영양화 수역의 기초생산력 범위를 보였으며(Hyun 등, 2001), 행주 및 독섬유원지 부근에서 측정된 기초생산력은 514-3144mgC/m²/d로 상기 결과와 유사하였다(권순기와 최종기, 1994).

한강하구역에서는 강화도 양측 수로 및 세어도 부근 해역에서 조사된 자료에 따르면 한강 하구는 주로 규조류에 의하여 우점되며(출현종수 측면에서 약 83%), 이외에 녹조류 및 와편모조류가 각각 8% 및 6%를 차지하였다(최종기와 권순기, 1994). 주요 우점종은 저서성 규조류인 *Paralia sulcata*가 전 계절에 걸쳐 우점하였고 이외에 담수종인 *Aulacoseria islandica*, 연안성 규조류인 *Eucampis zodiacus* 및 *Skeletonema*

*costatum*이 우점하였다. 상기 연구와 동일한 수역에서 수행된 한강 하구역의 기초생산력은 38-185mgC/m²/d로 한강 하류에 비하여 매우 낮으며, 주요 종은 저서성 규조류가 조류에 따라 재부유되면서 기초생산력에 많은 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다(권순기와 최중기, 1994).

해수지배적 한강 하구인 경기만에서 장기간 식물플랑크톤의 종조성 및 다양성을 모니터링한 자료에 따르면(인하대학교 부유생물연구실) 80년 초부터 꾸준한 감소세를 보이고 있다(Fig. 11).

임진강 수계에서의 환경 연구에 관한 논문은 매우 드물며, 최근에 식물플랑크톤 및 일반 수질에 관한 연구가 이루어졌다(이경과 윤숙경, 2002a; 이경과 윤숙경, 2002b). 상기 연구가 이루어진 수역은 임진강중 담수가 지배하는 환경에서 이루어져 주로 담수산 플랑크톤이 우점하였으며, 주요 출현종은 *Achananthes minutissima*, *Anabaena* sp., *Aulacoseira ambigua*, *A. granulata*, *A. granulata* v. *angustissima*, *Coscinodiscus joneasianus*, *Cymbella affinis*, *Cylindrotheca closterium*, *Diatoma vulgare*, *Merismopedia glauca*, *Stephnodiscus hantzschii* f. *tenuis* 등 이었다.

한강 하구 및 하류 수역의 식물플랑크톤 분포는 담수, 해수 및 기수산 플랑크톤이 공존하는 형태를 보인다(정영호와 심재형, 1969). 상기 연구에 따른 수역별

식물플랑크톤 분포는 강화도를 기준으로 북측 및 양측 수로는 식물플랑크톤의 종조성중 순수 담수종이 25% 이하이며, 강화도 남측 및 경기만 수역은 담수종이 거의 출현하지 않는다. 반면 김포시에 포함된 한강 하구 구간은 순수 담수종이 약 50%이며, 나머지는 기수종과 해산종이 주류를 이룬다. 따라서 상기 식물플랑크톤 분포에 따른 한강 하구역의 특성은 강화도 주변 수역은 해수 지배적 환경으로 그리고 김포시에 포함된 수역은 기수 및 담수 지배적 하구 환경으로 규정하는 것이 바람직할 것으로 사료되며, 이 결과는 상기 언급한 염분 분포에 따른 하구역 경계면 설정과 일치한다.

한강 하구의 적조생물은 주로 무해성이며, 야광충류인 *Noctiluca*와 섬모충류인 *Mesodinium*에 의한 적조가 대부분이다. 상기 생물에 의한 적조는 유독성은 없으며, 발생규모 역시 매우 소규모이므로 심각한 수준은 아닌 것으로 판단된다. 이와 같이 한강 하구에서 심각한 부영양화에도 불구하고 적조 현상이 적은 것은 강한 왕복성 조류에 의한 오염물의 체류시간이 짧고, 이에 따른 부유물질의 농도가 매우 높아 식물플랑크톤의 대량 증식을 억제하는 것으로 판단된다. 따라서 물의 흐름을 제한하여 정체된 수역을 형성할 경우 심각한 적조 발생이 우려된다. 특히 경기만의 경우 시화호, 공항 및 송도 신도시와 같은 대규모 매립 사업에 의한 조류 및 조속의 변화는 한강 하구의 적조 발생 가능성을 높이고 있는 실정이다.

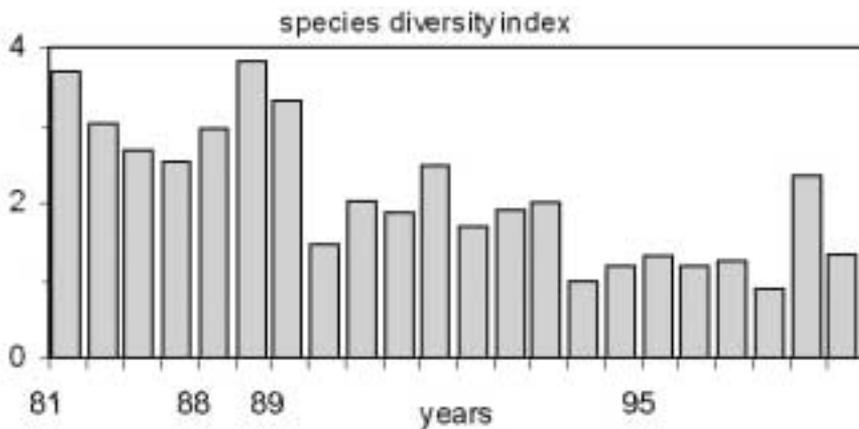


Fig. 11. Long-term trends of phytoplankton species diversity indices(H') in the Gyungggi bay(data from Plankton Lab of Inha University)

2) 동물플랑크톤 및 어류플랑크톤

한강 수계중 담수지배적인 한강 본류의 동물플랑크톤은 주로 지각류, 요각류 및 윤충류에 의하여 우점되는 것으로 보고되어왔다. 팔당에서 행주에 이르는 8개 구간에서 총 64종중 지각류 28종, 요각류 19종 그리고 윤충류 17종을 보고하였으며, 주요 우점종은 *Aplanchna priodonta*, *Brachionus calyciflorus*, *Bosmina longirostris*, *Cyclops vicinus*였다(Yoo와 Lim, 1991).

강화도 양측에 위치한 염하수로 최남단과 석모수로의 중간에서 조사된 자료에 의하면(명철수, 1992; 인하대학교 해양학과 부유생물연구실, 1998년-1999년), *Acartia hongii*, *Noctiluca scintillans*, *Sagittia crassa*, *Paracalanus indicus*, *P. crassirostris*가 연중 가장 우점하는 동물플랑크톤으로 나타났다. 반면 강화도 남단인 세어도 부근 수역에서 이루어진 조사에 따르면 담수종과 기수종 및 해산종이 공존하는 것으로 구명되었다(윤석현과 최중기, 1994). 따라서 세어도 수역은 한강 및 임진강 등에 분포하는 동물플랑크톤이 직접 유입되는 수역으로 생각된다. 이와 같은 현상은 어류플랑크톤의 분포에서도 입증되고 있으며, 강화도 양측 수로에서는 싱어(*Coilia mystus*)가 가장 우점하는 종으로 나타났다(박경수와 이영철, 1997).

3)저서생물

경기만을 포함하는 한강 하구역의 저서생물에 관한 연구는 덕적도를 포함하는 경기만 남부 해역(신현출 등, 1992), 영종도 주변 해역(임현식 등, 1995), 대부도 주변 해역(임현식과 최진우, 1998)에 대한 연구가 있으며, 저서생물을 이용한 환경 평가 연구(이재학 등, 1997; 홍재상 등, 1997) 등이 있다. 또한 한강 하류를 포함한 담수 지배적 환경에서는 저서생물에 관한 연구가 매우 제한적이다(배경석과 박성배, 1992; 배경석 등, 1993).

우선 한강에서 조사된 저서생물군집 자료중 한강 지류의 저서성 대형무척추동물은 수서곤충류가 우점하였으며 그 중에서도 하루살이류, 강도래류 및 날도래류

등은 주로 수질이 양호한 한강 상류의 지류에서 우점하며, 중랑천과 같은 오염이 심한 수역에서는 파리류가 우점종으로 출현한다(배경석 등, 1993). 반면 한강 중하류에 위치하는 도시하천인 안양천, 탄천 및 왕숙천 등지에서는 강부수성 수역에서 출현하는 깔다구류가 우점종으로 출현하며 종다양성이 매우 낮고 다른 저서생물이 서식하기에는 부적절한 환경이다(배경석과 박성배, 1992). 특히 한강 본류에 인접한 하구역중 신곡 수중보 상류 수역은 물의 흐름이 정체되면서 퇴적물내의 유기물 분해로 인한 산소고갈로 혐기성 환경이 형성되어 여름철에는 심한 냄새를 풍길 정도로 부패한다(저자 직접 관찰 1989년). 반면 그 외 수역에서는 비교적 물의 흐름이 원활하고 경기만의 조석에 따른 왕복성 흐름이 형성되어 퇴적물내의 산소는 고갈되지 않으므로 일부 오염에 강한 저서생물의 서식은 가능할 것으로 판단된다. 따라서 한강 하구역중 김포시 및 강화도 북단에 위치하는 수역은 군사상의 통제로 인하여 조사 자료는 없으나 수질 및 물의 흐름으로 미루어 퇴적물내 저산소 현상은 발생하지 않는 것으로 생각된다. 그러나 한강 본류로부터 유입되는 유기오염물질에 의한 퇴적물의 오염으로 종다양성이 낮은 저서 생태계를 유지하는 것으로 사료된다.

반면 경기만에 위치한 한강하구는 해수 지배적 환경으로 일부 고립된 수역의 퇴적물을 제외하고는 매우 양호한 상태를 보인다. 이와 같은 이유는 경기만의 강한 왕복성 조류에 의한 퇴적물의 침적 및 재부유가 활발하여 퇴적물내 산소 공급이 원활하므로 퇴적물의 상태는 매우 양호한 편이다. 따라서 한강 본류와 인접한 담수 지배적 한강 하구에 비하여 경기만 수역의 한강 하구는 매우 양호한 저서 생태계를 유지하는 것으로 사료된다.

다. 경험적 분석에 의한 한강하구환경의 문제점

상기 언급한 수질 및 생물상의 분포 이외에도 한강의 물리적 변형에 의한 생태적 기능의 변화가 심각하다. 우선 한강을 중심으로 형성된 제방도로는 지금보다 훨씬

썩 더 육지쪽으로 이동되어야 한다. 우리나라와 같이 우기에 강우가 집중되는 지역은 강의 수심변화가 크고 그에 따른 수변 공간이 넓게 형성되는게 특징이다. 이러한 수변 공간은 습지로서의 역할을 하며, 육수환경(陸水環境)을 연결해주는 완충 및 전이지대로서의 역할을 수행하게 된다. 그러나 강변에 구축된 제방은 육수 전이수역(陸水轉移水域)으로서의 수변 공간의 역할을 제한하고 특히 강변을 따라 구축된 군사용 철조망은 육상포유류의 한강 접근을 심각히 제한하고 있는 실정이다. 특히 제방 축조로 인하여 형성된 기존의 수변 공간이 농경지로 개간되면서 비료 및 농약 사용 등에 의한 수질 오염이 가속되고 있다.

경기만과 강화도 일대를 포함하는 해수 지배적 한강 하구역은 수질 측면에서는 담수 지배적 한강 하구에 비하여 양호한 편이다. 그러나 이와 같은 현상은 오염도가 높은 한강 유입수가 오염도가 매우 낮은 다량의 해수에 의하여 희석되고, 또한 담수와 해수의 혼합과정에서 수층내의 오염물이 착염되면서 발생하는 일반적인 현상이다. 따라서 해수 지배적 한강 하구역의 수질은 양호한 편이나 퇴적물 오염이 심각한 상태이다. 특히 항만 내부와 같이 해수 교환이 제한되거나 또는 해면 이용이 많은 수역(조선소, 물양장 등)의 퇴적물 오염은 매우 심각한 편이다.

경기만을 포함하는 한강하구는 상기 문제점 이외에도 지속적이며 심각한 환경 변화를 유발할 수 있는 다양한 문제점을 내포하고 있다. 먼저 경기만을 포함하는 경인연안 갯벌의 30% 이상이 지난 10여년동안 매립되어 육지화 되었다. 대표적인 사업으로는 영종국제공항, LNG 인수기지, 송도신도시, 준설토 투기장 건설 등이며 이외에도 소규모 선착장 및 물양장 등으로 대부분의 갯벌이 본래의 모습을 상실한 상태이다.

두 번째로는 한강하구로부터 채취되는 다량의 골재 자원이다. 우선 경인연안에서 채취되어 공급되는 골재의 양은 수도권 수요량의 약 70%를 차지한다. 이에 따른 퇴적물의 이동과 재배치에 따라 연안 침식이 발생할 가능성이 있으며, 지역 주민간의 이해관계로 발전하여 지역 갈등이 심한 상태이다.

세 번째로는 담수호에서 해수호로 전환되어 지속적으로 오염물질을 배출하고 있는 시화호이다. 시화호는 해수로 전환된 이후 수질 개선 효과는 컸지만 여전히 퇴적물 오염의 정도는 개선되지 않고 있는 실정이다. 특히 퇴적물의 오염정도를 나타내는 산화환원성황화물(AVS)의 경우 시화호 내부는 평균 0.55mg/g dry weight로 강화도 남단에 위치한 갯벌 퇴적물의 0.018mg/g dry weight에 비하여 약 40배 이상 높은 값을 보였다(해양수산부, 2003). 이와 같은 현상은 시화호 내부 퇴적물이 저산소 또는 무산소 환경에 노출되고 있음을 시사한다. 따라서 시화호 및 인천항 등을 포함한 정제 수역의 극심한 퇴적물 오염 수역은 준설이 불가피한 실정이다.

4. 시사

상기 논문은 “하구역 환경보전전략 및 통합환경관리 방안수립” 과제(환경정책평가연구원 주관)로 수행되었고, 상기 내용 이외에 한강 하구의 인문사회 현황 및 환경관리정책 등은 기 발간된 연구보고서(이창희 등, 2003)를 통하여 볼 수 있으며, 또한 본 논문을 심사하여 주신 심사위원님께 감사드립니다.

5. 참고문헌

1. 건설교통부, 임진강하천정비기본계획(보완), 서울, 2001.
2. 권순기, 최중기, 한강하류 및 하구역의 식물플랑크톤 생태연구 I. 환경요인과 일차생산력, Yellow Sea Research, Vol.6, pp.77~99, 1994.
3. 국립해양조사원, 조류도(경기만 부근 수치모델링), 1997.
4. 김동화, 한강 하구역에서의 생지화학적 상호 작용 연구, 인하대학교 해양학과 이학석사 학위논문, 2002.
5. 김영택, 한강하구 및 경기만에서의 물리학적 특성, 인하대학교 해양학과 이학석사 학위논문, 1990.
6. 김용재, 김명운, 김상중, 한강 중하류 수계에서 식물

- 플랑크톤 군집의 생태학적 특성, *Algae*, 제13권, pp. 331~338, 1998.
7. 김정균, 하계한강하류의 식물성 플랑크톤의 분류와 해수 지표성, *한국육수학회지*, 제15권, pp. 31~41, 1972.
 8. 명철수, 한강하구 기수해역의 동물플랑크톤 군집에 관한 생태학적 연구, *인하대학교 해양학과 이학석사 학위논문*, 1992.
 9. 박경수, 박승윤, 김전풍, 박중현, 강지수, 황해 표층 퇴적물의 지화학적 특성, *수진원연구보고*, 제56권, pp.221~229, 1999.
 10. 박경수, 이영철, 건조기와 우기의 한강 수질 환경과 어류 군집 비교, *Yellow Sea Research*, 제7권, pp.43~53, 1997.
 11. 박승윤, 박경수, 석규진, 오현주, 이영식, 김전풍, 경기만 수질의 시공간적 변동과 부영양화, *수진연구보고*, 제56권, pp.189~204, 1999.
 12. 배경석, 박성배, 한강 중하류 지천생태계의 저서성 무척추동물군집 및 환경요인과의 관계, *한국육수학회지*, 제25권, pp.41~57, 1992.
 13. 배경석, 최영복, 박성배, 한강하류 일부 지천생태계의 저서성 대형무척추동물 동태 특성, *한국육수학회지*, 제26권, pp.11~26, 1993.
 14. 서경석, 한강 감조구간의 조석 계산 및 예보에 관한 연구, *성균관대학교 토목공학과 공석사학위논문*, 1986.
 15. 신현출, 강성길, 고철환, 경기만 남부 해역의 저서 다모류 군집, *한국해양학회지*, 제27권, pp. 164~172, 1992.
 16. 유광일, 임병진, 한강 하류계의 식물플랑크톤 군집과 수질오염지표에 대하여, *한국육수학회지*, 제23권, pp.267~277, 1991.
 17. 윤석현, 최중기, 인천연안 동물플랑크톤 군집의 계절적 분포에 관한 연구, *Yellow Sea Research*, 제7권, pp.91~104, 1994.
 18. 이경, 윤숙경, 임진강 수역의 자연 하적호 장좌못에서 식물플랑크톤 군집의 계절적 변화, *한국육수학회지*, 제35권, pp.103~110, 2002.
 19. 이경, 윤숙경, 임진강 수계의 식물플랑크톤 군집의 계절적 변화, *한국육수학회지*, 제35권, pp.111~122, 2002.
 20. 이재학, 고병설, 박홍식, 인천연안역 저서동물의 종 조성을 이용한 환경평가, *한국수산학회지*, 제30권, pp.771~781, 1997.
 21. 이진환, 장만, 한강하류의 환경학적 연구 II. 식물플랑크톤의 동태, *한국육수학회지*, 제30권, pp.193~202, 1997.
 22. 이창희, 구도완, 노태호, 문현주, 전성우, 허경미, 하구역 환경보전 전략 및 통합환경관리방안 수립 - 한강하구역을 중심으로, *한국환경정책평가연구원*. 서울, 2003.
 23. 인천광역시, 인천앞바다 해양오염 영향인자 조사 및 해양환경 관리방안 연구, 1998.
 24. 인하대학교, 한강 하구 개발에 의한 하구 환경 변화의 연구와 개발 이전의 환경과의 비교, *인하대학교부설 해양과학기술연구소*, 1990.
 25. 임현식, 이재학, 최진우, 제종길, 영종도 주변해역의 저서동물 군집, *한국수산학회지*, 제28권, pp.635~648, 1995.
 26. 임현식, 최진우, 경기만 대부도 주변 조하대 해역의 저서동물 군집, *한국수산학회지*, 제31권, pp.453~462, 1998.
 27. 장현도, 한강종합개발이후 한강하구 및 경기만에서 퇴적환경의 변화, *인하대학교 해양학과 이학석사학위논문*, 1989.
 28. 정영호, 심재형, 한강하구의 기수역유형에 관한 연구, *식물학회지*, 제12권, pp.127~134, 1969.
 29. 최중기, 권순기, 한강하류 및 하구역의 식물플랑크톤 생태연구 II. 식물플랑크톤 군집구조, *Yellow Sea Research*, 제6권, pp.101~129, 1994.
 30. 한영희, 이진환, 장만, 한강하류의 환경학적 연구 I. 수질, *한국육수학회지*, 제30권, pp.181~192, 1997.
 31. 해양수산부, 갯벌생태계조사 및 지속가능한 이용방

- 안연구, 2003.
32. 홍사욱, 경춘호, 한강하류계의 수질과 니토에 관한 이화학적 조사 연구, 한국육수학회지, 제16권, pp.43~51, 1983.
33. 홍사욱, 신경식, 한강하류 기수구역의 육수학적 연구, 한국육수학회지, 제11권, pp.25~31, 1978.
34. 홍순우, 김하석, 박만기, 한강하류의 수질에 관하여, 한국육수학회지, 제12권, pp.19~47, 1979.
35. 홍재상, 정래홍, 서인수, 윤건택, 최병미, 유재원, 시화방조제의 건설은 저서동물군집의 시공간분포에 어떠한 영향을 미쳤는가? 한국수산학회지, 제30권, pp.882~895, 1997.
36. Hyun, N.K., Hwang, G.S., Kim, B.C., and Kim, K.S., Primary productivity of phytoplankton at the eutrophic down reach of a regulated river(the Han River, Korea), Korean J. Limnol., Vol.34, pp.267~276, 2001.
37. Mclusky, D.S., The Estuarine Ecosystem, John Wiley and Sons, New York, 1981.
38. Moore, J.W., and Ramamoorthy, S., Heavy Metals in Natural Waters, Springer-Verlag, New York, 1984.
39. Nakane, K., and Hong, S.U., Dynamics of nutrients and heavy metals in an ecosystem of the Han River and its basin in the Korean peninsula, 한국육수학회지, 제16권, pp.53~60, 1983.
40. Park, G.S., and Han, K.N., Dynamics of fish larvae in the Han River Estuary and Kyunggi Bay, Korea, The J. of the Korean Society of Oceanography, Vol.32, pp.:202~207, 1997.
41. Park, G.S., and Park, S.Y., Long-tern trends and temporal heterogeneity of water quality in tidally mixed estuarine waters, Marine Pollution Bulletin, Vol.40, pp.1201~1209, 2000.
42. Yoo, K.I., and Lim, B.J., Seasonal variation in the zooplankton community structure of the lower Han River system, Korean J. Limnol., Vol.24, pp.85~91, 1991.