

BSPE99383-11006-5

염하구 복원·관리 기술개발 기획사업

(Estuary Restoration project : EstuaRE project)

2016. 3.



제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “염하구 복원·관리 기술개발 기획사업”의
최종보고서로 제출합니다.

2016. 3.

기획책임자: 정회수

참여연구원: 김성, 김지훈, 박준용, 백승호,
우한준, 이달수, 임동일, 정갑식
(이상 한국해양과학기술원, 가나다 순)

요약문

그간 우리나라 하구역 연구개발은 하구생태환경 현황조사 및 법제도 개선 위주로 진행되어 왔다. 즉, 하구역에 대해 현재까지 이루어진 조사의 대부분은 기초 환경조사 및 생태조사연구 등에 국한되었고, 특히 현재 진행되는 하구조사 사업도 장기 생태계 모니터링, 독 내외측 수질, 생태계, 수산생물자원, 공간관리 등에 대한 비교연구, 생태 모델링, Web GIS 구축, 법제도 개선 등에 국한되어 있다. 그러나 문제를 제기할 뿐, 문제해결을 위한 구체적 방안이나 해결책 제시가 미흡했다. 따라서 하구역에 이미 노정된 환경생태학적 문제점을 해결할 수 있는 현실적인 방안에 대한 연구개발이 필요한 시점이다. 본 연구에서는 생태환경 복원기술(또는 생태환경 개선방법), 오염물질 유입량 감축, 개발제한 등 기 제시된 그리고 당연히 추진해야 할 사안은 배제하고, 하구역 하구역의 생태환경 문제를 종합적으로 진단-요약하고, 실효적으로 해결할 수 있는 구체적이고 실천 가능한 대안(방법, 기술) 연구개발 내용을 제시-토론하고, 이를 토대로 향후 좀 더 구체적인 연구기획의 시발점을 제시하고자 한다. 향후의 연구개발 기획은 조사연구에서 실질적인 대안을 제시하는 방향으로 전환되어야 할 것이다.

우리나라 염하구에 대한 생태환경 연구는 수없이 진행되어 왔으며, 다음과 같이 요약된다. 즉 하구둑 내측 호소에 퇴적물이 빠르게 침적됨에 따른 부작용(호저 수위상승, 저서생태계 악화 등)이 명확히 나타난다. 하구둑 외측에서도 지형 및 생태계 변화와 부작용(하구둑 외측에 퇴적도 침적 및 수로 변화, 저서생태계 변화 등)이 나타난다. 아울러 생태계 변화(수산자원 감소 포함) 및 수질 악화 등도 다수 보고된다. 이러한 모든 변화는 결국 물의 흐름 차단에 기인-파생되는 결과로, 문제 해결의 열쇠도 결국 차단된 하구환경 물 흐름을 어떻게 회복시켜줄 것인가로 귀결된다.

이러한 사실에 근거, 다음과 같은 연구내용을 제시하여 토론한다. 즉 1. 배수 갑문 증설 및 갑문 조작을 통한 해수 유통 방안, 2. 염수짜기 형성을 활용한 저층류 부분개통 방안(수문 변형-조작), 3. 저층수의 일방향 배수를 통한 부분개통 방안(일방향 저층수 배수 장치), 4. 기타 융합 방안 등이다. 이러한 토론을 시작점으로 하여 향후 염하구 연구가 실질적인 복원방법 제시 방향으로 전환되기를 기대한다.

목 차

1. 서론	1
1-1. 하구 개요	1
1-2. 하구복원 기획연구의 배경	3
2. 국내외 연구개발 동향	8
2-1. 국내 연구개발 동향	8
2-2. 국외 연구개발 동향	11
3. 우리나라 하구둑의 문제점	17
3-1. 하구 건설에 따른 호소 부영양화, Si 배출량 감소 및 호소 저층의 빈산소 수괴 형성	18
3-2. 저서 및 수서 생태계 변화	18
3-3. 사례로 본 하구둑 건설에 따른 문제점	20
3-4. 하구 건설에 따른 문제점 요약	22
4. 기획 연구의 목적 및 연구내용	23
4-1. 연구목적	23
4-2. 연구내용	23
5. 기획 시나리오별 타당성 검토	24
5-1. 염하구 복원 시나리오별 타당성 검토	24
5-2. 향후 기획시 고려사항	28
6. 연구 추진 체계	29
6-1. 개념설계	29
6-2. 추진 체계도 및 연차별 추진계획	30
7. 기대효과 및 활용방안	31
7-1. 기대효과	31
7-2. 활용방안	31
[부록 1] 기획연구사업 과제 계획서	32
[부록 2] 발표자료	48

1. 서론

1-1. 하구 개요

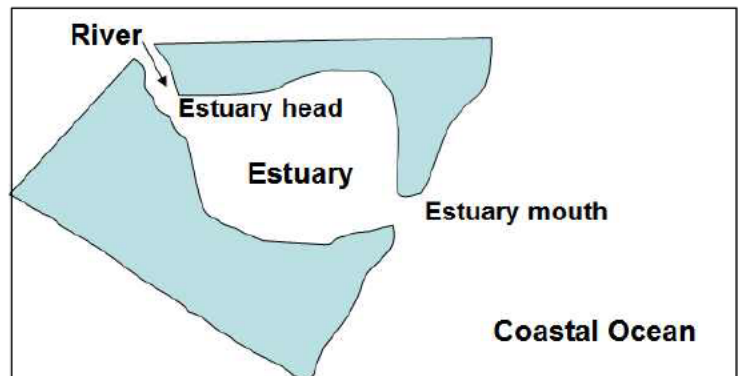
○ 하구(estuary)는 하천의 담수와 바다의 염수가 혼합되는 수역으로, 해양의 조석주기와 조차 그리고 하천의 유량변동에 따라 물리화학적 특성이 크게 변화하는 특성을 가짐(Cameron and Pritchard, 1963).



- 하구에서는 염분을 포함하여 밀도가 상대적으로 큰 해수가 저층에서 육지 쪽으로 흐르고, 밀도가 상대적으로 낮은 담수는 표층에서 바다 쪽으로 흐르는 소위 '하구순환'이라 일컬어지는 물 흐름 현상이 특징적으로 나타남.

- 섬진강과 연결된 광양만의 경우처럼, 담수 유입이 미미한 "coastal embayment" 또한 광역적 의미에서 하구로 정의될 수 있음.

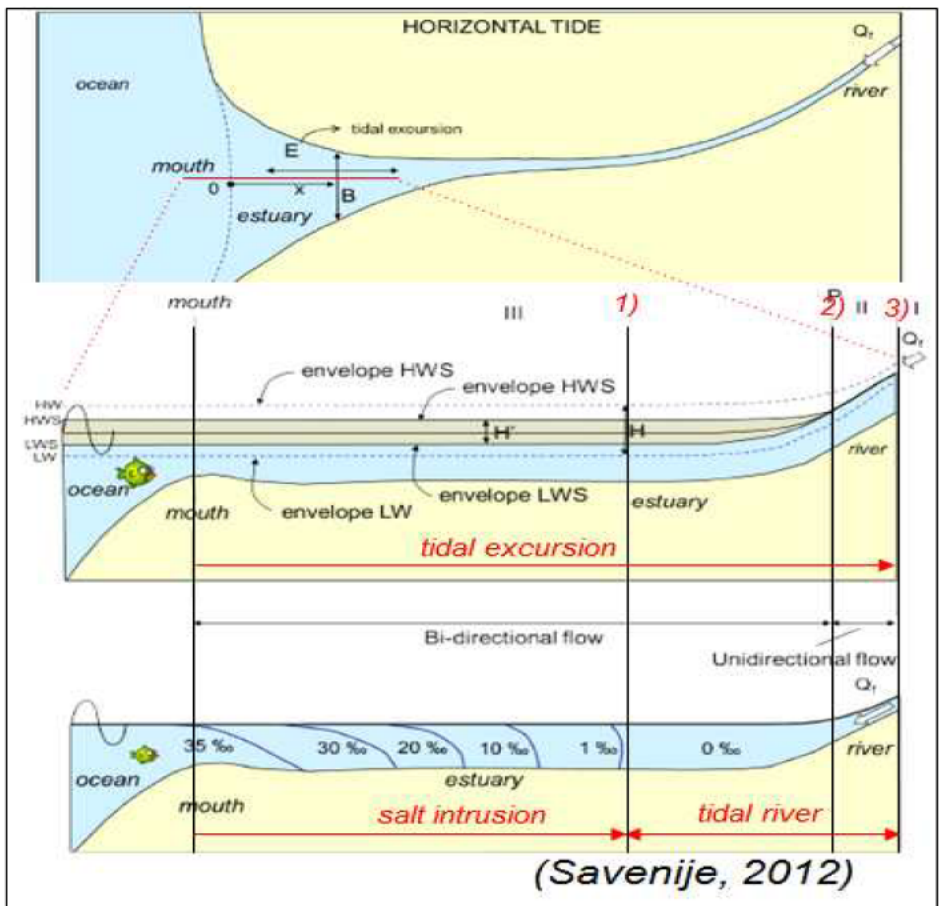
○ 하구의 경계에 관한 정의는 다음과 같은 3가지가 있음.



- 해수 침투의 상부 경계 (upper limit of salt intrusion): 해수 기원의 염수가 영향을 미치는 최대 거리 즉, 해수(염분 기준 0.5 psu)의 최대 도달 거리 (염분 기준은 0.5 psu이나, 일반적으로 1 psu를 사용; 아래 그림에서 수직선 1) 참조)

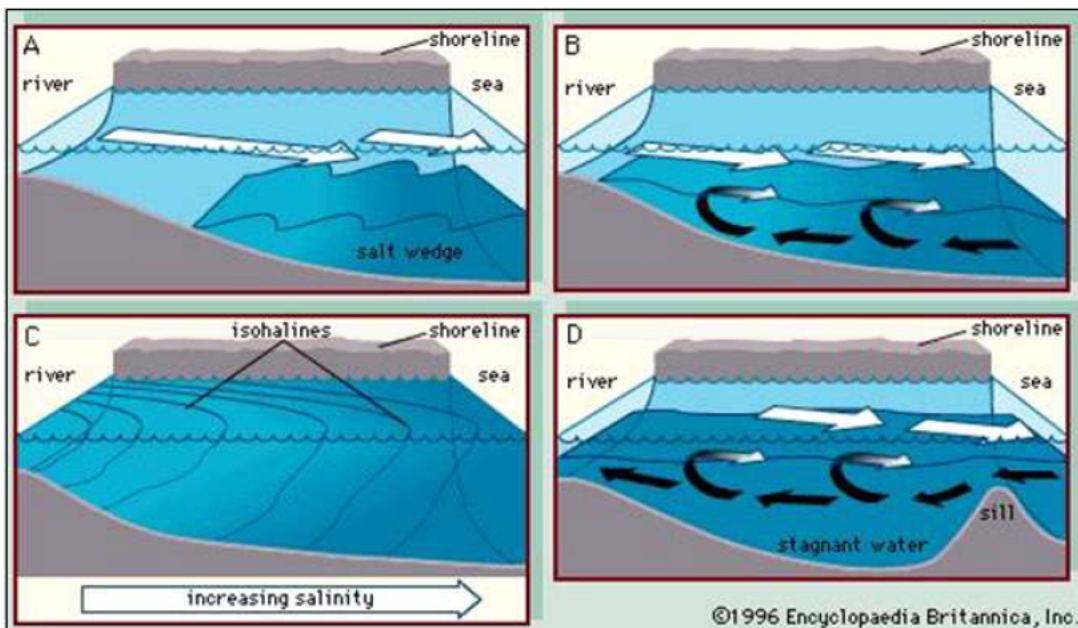
- 강 상류로의 물 흐름의 최대 도달 거리 경계(upper limit of flow reversal): "upriver flow"의 최대 도달 거리 (아래 그림에서 수직선 2) 참조)

- 조석이 미치는 상부 경계 (upper limit of tidal effect, 감조역): 조석에 의한 수위 변화가 감지되는 강 상류의 최대 거리 경계 (아래 그림에서 수직선 3))



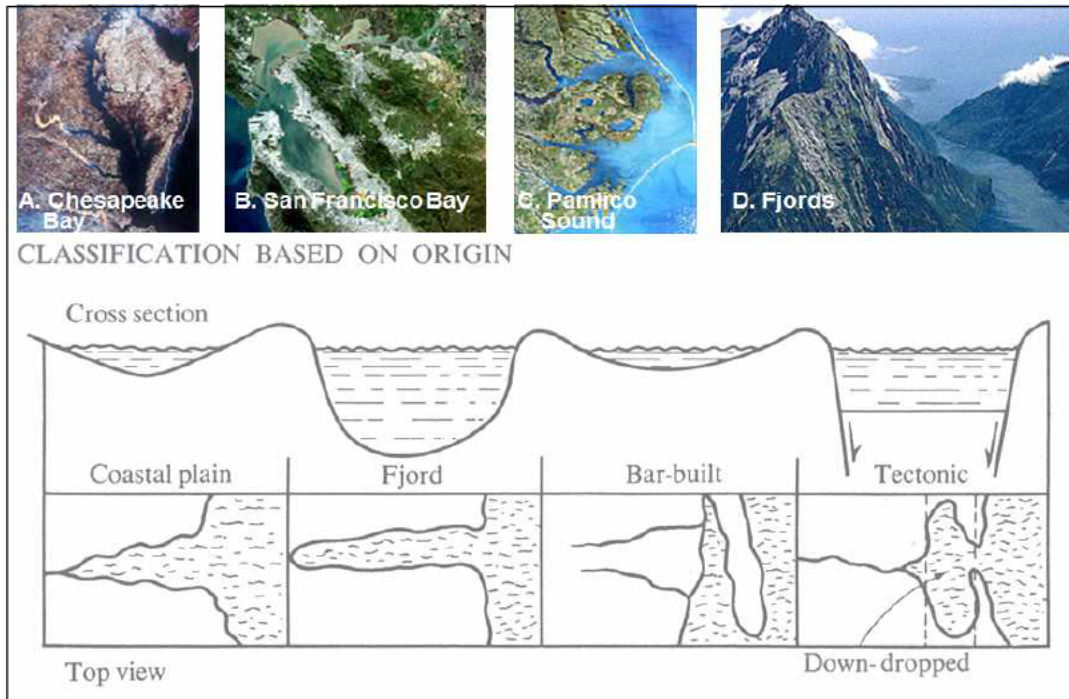
○ 하구 형태는 해수와 담수의 물리적 순환 특성에 따라 4가지로 구분됨.

- A: Salt-wedge estuary, B: Partially mixed estuary,
- C: Vertically homogenous estuary, D: Fjord-type



○ 하구의 형태는 지형학적 특성에 따라 4가지로 분류될 수도 있음.

A: Coastal plain estuary, B: Tectonic estuary,
C: Bar-built estuary, D: Fjords



1-2. 하구복원 기획연구의 배경

○ 하구역의 가치/중요성

- 하구역은 하천과 해양의 연결부로서 지구표면의 1% 이내에 불과하나 담수와 해수의 수리/수질 특성이 공존하는 점이지역으로, 수생태계학적으로 매우 중요한 지역임.
- 하구는 강에서 많은 영양염류를 공급받고, 낮은 수심과 충분한 광합성으로 다양한 형태의 생태계 형성.
- 1997년 네이처(Nature)지에는 하구역의 환경가치가 헥타르(ha) 당 연간 22,832 달러로, 같은 면적 경작지의 92달러 보다 약 250배 높다는 논문이 게재



○ 하굿둑(보) 등으로 막힌 우리나라 4대강 염하구의 환경-생태적 문제 심각 (예: 2015

년 한강 녹조, 낙동강 녹조, 금강호 오염, 영산호 오염 등; 다수의 관련 기사)



○ 염하구 문제 해결을 위한 정부의 오랜 노력에도 불구하고, 환경생태계 조사와 법제도 분석만 계속될 뿐, 아직도 뚜렷한 해결책(과학기술적 대안)이 제시되지 못함.

○ 해양수산부-농림부-환경부 등이 얽힌 염하구 환경문제의 합리적 해결을 위한 공감대(예: 부분 개통)에도 불구하고, 관계 부처의 해결노력은 미흡 또는 의도적 외면

○ 해결노력 미흡(외면)의 주요 원인은 염하구 환경생태 가치에 대한 대국민 설득과 해결압박 부족이며, 이에 따라 해결하기 보다는 문제를 감내하고 묵인해 오는 현실

- 한반도 기후 변화와 해수면 상승은 염하구에 또 다른 문제를 동반 야기(예: 염하구 바다화 및 수산자원 피해, 연안역 해수 침투에 따른 농업피해와 산업단지 담수 부족 등)

- 특히 염하구 변화는 연안 적조, 빈산소 수괴 형성, 백화 현상 확장 등에도 기여하므로, 염하구 관련 정보·지식은 연안환경 문제 해결을 위해서도 필요

- 대국민 설득력 및 복원 추진동력 확보를 위해, 우리나라 유일 보전 염하구인 섬진강과 훼손된 한·낙동·금·영산강 간 생태환경 가치 비교연구-홍보, 정책도출도 필요



○ 유럽 등에서는 염하구 복원사업을 이미 오래 전부터 추진하고 있으며(예: 영국 하천복원센터(RRC)와 유럽하천복원센터(ERRC)가 1990년대부터 가동 중), 특히 미국은 2000년 하구복원 관련법률 (Estuary Restoration Act) 제정 및 복원사업을 실천 중



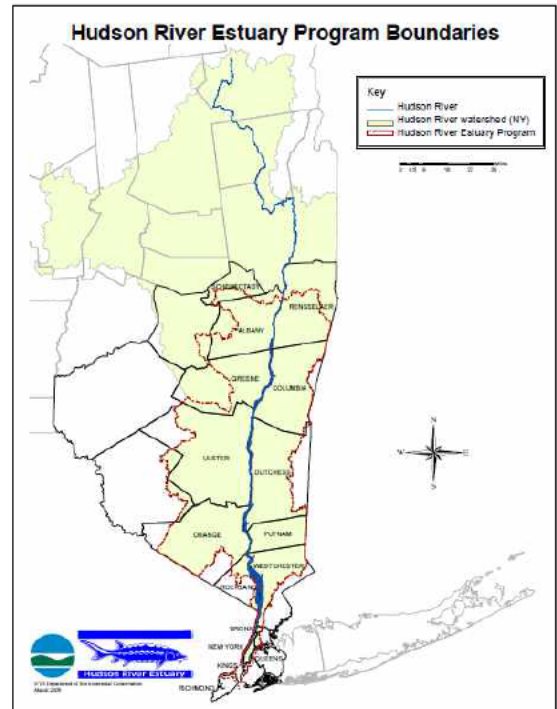
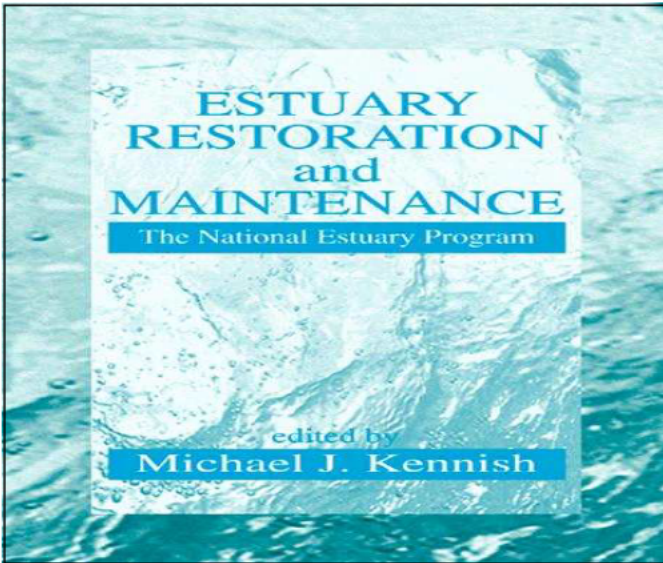
- 미국은 하구 관련 부처들의 혼재 및 하구 난개발 해결을 위해 2000년 하구복원법을 제정·시행 (육군

공병단과 해양대기청 주도, 내무부/환경청/농림부 등 참여; 관련 홈페이지 :

www.estuaries.org;

www.usace.army.mil/Missions/Environmental/EstuaryRestoration 등)

○ 즉, 이해당사자가 참여-도출한 실천 가능 염하구 복원기술의 조기개발이 필요함.



○ 우리나라 하구역의 정책적 문제

- 우리나라에서 바다로 이어진 강과 하천 465개 중 절반 가까운 228개는 인공 구조물에 의해 담수역과 해수역으로 분절되어 있음(예: 금강, 영산강, 낙동강 등)
- 이렇게 수많은 하구역에 대한 정의는 우리나라 현행 법률에서 아직 명확하지 않음.

- 또한 하구역 관리 주체가 기능별로 또는 지리적으로 복잡하게 나뉘어 있기 때문에, 문제 발생시 대응의 어려움이 있음.

* 국토교통부(하천법, 토지이용규제기본법 등), 해양수산부(공유수면관리 및 매립에 관한 법률, 연안관리법, 해양환경관리법, 해양생태계 보전 및 관리에 관한법률 등), 환경부(자연환경 보전법, 수질 및 수생태 보전에 관한 법률, 습지보전법, 금강수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률 등) 등이 각자의 법률에 근거해 하구역을 각자 관리.

- 그 결과, 하구둑 해수유통에 대한 의견대립 등 이해당사 간 이견을 조정하고, 통합적 관점에서 해결책을 모색하는 등을 위한 문제해결의 추진(관리) 주체(부처, 기관)가 불분명(중앙정부/지자체?, 건설 주체? 관리주체? 수역 관리주체(부처)? 해당 기능별 관리 주체(부처)?)하고, 이로 인해 하구역 문제의 적극적 해결동력 확보의 어려움

○ 우리나라 하구역의 현안문제 사례#1(금강 하구를 중심으로)

- 우리나라 하구역의 환경생태학적 문제점은 각 하구의 인문 및 자연지리적 특성에 따라 다를 수 있으나, 금강 사례에서 나타난 문제점들을 대부분 안고 있음.

- 금강 하구둑은 급속한 산업화 과정과 수자원 확보를 위하여 1983년 착공되어, 1990년에 완공되었으며, 방조제의 총 길이는 1,841 m로 연간 3억 6천만 톤의 담수를 공급

- 그러나 농업 및 공업용수 공급, 홍수와 염해방지, 교통로 확보 등 순기능과 더불어 수질오염, 어장 상실, 퇴적물 침적 가속화 등의 역기능도 발생(Kim, 1998; Yang et al., 1999).

- 금강 하구역 내측은 수질오염이 심각, 계절에 관계없이 부영양 상태와 나쁜 수질이 유지되고 있음.

<금강 담수호 수질 현황>

구분	COD	부유물질(SS)	총질소	총인
농도 (mg/L)	7.7	25.2	3.37	0.116
등급	IV (약간나쁨)	V/VI (나쁨/매우나쁨)	VI (매우나쁨)	V (나쁨)

* 주:2004~2014년 국가수질환경측정망의 금강하구연 1,2,3

* 자료 : 환경부 물환경정보시스템

- 이러한 금강 하구역 문제를 해결하기 위해서는 문제 해결에 필요한 연구자료가 필요하나, 그간의 상당한 연구조사결과에도 불구하고 문제해결과 정책개발을

위한 정보는 미흡(구체적이고도 실현 가능한 하구복원 방안, 복원 시나리오별 예측모델 등)

○ 우리나라 하구역의 현안문제 사례#2(한강 하구를 중심으로)

- 한강 유역의 거대한 도시생활 공간은 하구역 수질과 생태 문화를 위협하고 있으며, 특히 한강 하구의 신곡 수중보는 하구 수괴혼합을 제한, 하구수질 악화의 요인이 되고 있음(2015년 여름 대규모 녹조 발생 사태 사례 등)
- 한강 하구역 바다 쪽에서는 영종도 공항, 김포 및 송도 매립지 등이 대규모로 개발되었으며, 추가적인 개발 압력도 높은 상황임.
- 한강 북부 하구역의 신도시 (김포, 파주, 고양, 등) 개발과 평화공원 조성사업, 각종 산업단지 조성(파주인쇄, 문산LCD, 개성공단 등) 등에 의해 하구역 훼손 가속화우려
- 하구역 개발이 집중된 경기 인천 연안에서는 지난 1990년 대비 해면어업 생산량이 1/5 이하로 감소하는 등 수산자원량 격감
- 이러한 개발에 따른 하구기능 변화와 훼손 등의 예방을 위해서 한강 하구역에 대한 연구가 필요하며, 훼손된 하구역의 복원 방안수립도 요구됨.

2. 국내외 연구개발 동향

2-1. 국내 연구개발 동향

- '05년 6월 제62회 국정과제 회의에서 하구복원정책과 하구환경관리종합계획을 국가 장기과제로 선정하고 농림부, 환경부, 해양부가 공동 수행하도록 결정
- 국내 하구역 연구개발은 다양한 법률에 근거하여 추진되어 왔음.
 - 습지보전법(시행 2014.3.24.) [법률 제12525호, 2014.3.24., 일부개정/환경부(자연정책과),해양수산부(해양생태과) : 습지(육지 또는 섬에 있는 호수, 못, 늪 또는 하구(河口) 등) 효율적 보전·관리에 필요한 사항을 정하여 습지와 습지의 생물다양성을 보전하고, 습지에 관한 국제협약의 취지를 반영함으로써 국제협력의 증진에 이바지함을 목적으로 함.
 - 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률[시행 2014.7.31.] [대통령령 제25127호, 2014.1.28., 일부개정]/환경부(비점오염-수생태보전과), 환경부(폐수배출시설-수질관리과), 환경부(폐수종말처리시설-수질관리과), 환경부(배출 등의 금지-수질관리과), 환경부(총괄-물환경정책과) : 수질오염으로 인한 국민건강 및 환경상의 위해를 예방하고 하천·호소 등 공공수역의 수질 및 수생태계를 적절하게 관리·보전함으로써 국민이 그 혜택을 널리 향유할 수 있도록 함과 동시에 미래의 세대에게 물려줄 수 있도록 함을 목적으로 함.
 - 금강수계 물관리 및 주민지원 등에 관한 법률[시행 2014.8.7.] [법률 제11998호, 2013.8.6., 타법개정]/환경부(유역총량과) : 금강수계 상수원 상류지역의 수질개선과 주민지원 사업을 효율적으로 추진하고, 금강·만경강 및 동진강 수계의 수자원과 오염원을 적절하게 관리하여 금강수계의 수질을 개선함을 목적으로 함.
 - 해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률[시행 2014.3.18.] [법률 제12490호, 2014.3.18., 일부개정]/해양수산부(해양생태과) : 해양생태계를 인위적인 훼손으로부터 보호하고, 해양생물다양성을 보전하며 해양생물자원의 지속가능한 이용을 도모하는 등 해양생태계를 종합적이고 체계적으로 보전·관리함으로써 국민의 삶의 질을 높이고 해양자산을 보호함을 목적으로 함.
 - 해양환경관리법[시행 2014.7.22.] [법률 제12300호, 2014.1.21., 타법개정]/해양수산부(해양환경정책과) : 해양환경의 보전 및 관리에 관한 국민의 의무와 국가의 책무를 명확히 하고 해양환경의 보전을 위한 기본사항을 정함으로써 해양환경의 훼손 또는 해양오염으로 인한 위해를 예방하고 깨끗하고 안전한 해양환경

을 조성하여 국민의 삶의 질을 높이는데 이바지함을 목적으로 함.

- 동·서·남해안 및 내륙권 발전 특별법[시행 2014.7.15.] [법률 제12248호, 2014.1.14., 타법개정]/국토교통부(동서남해안기획단) : 동·서·남해안권 및 내륙권을 동북아시아의 새로운 경제권 및 국제적 관광지역으로 발전시키는데 필요한 사항을 규정하여 경제·문화·관광 등 지역산업을 활성화하고 지역 간 교류와 국제협력 증대를 통하여 국가경쟁력 강화와 국가균형발전에 이바지함을 목적으로 함.
- 하천법[시행 2014.7.15.] [법률 제12248호, 2014.1.14., 타법개정]/국토교통부(하천계획과), 국토교통부(하천운영과-하천점용), 국토교통부(하천운영과-하천수사용) : 하천사용의 이익을 증진하고 하천을 자연친화적으로 정비·보전하며 하천의 유수로 인한 피해를 예방하기 위하여 하천의 지정·관리·사용 및 보전 등에 관한 사항을 규정함으로써 하천을 적정하게 관리하고 공공복리의 증진에 이바지함을 목적으로 함.
- 연안관리법[시행 2013.8.13.] [법률 제12089호, 2013.8.13., 일부개정]/해양수산부(연안계획과) : 연안의 효율적인 보전·이용 및 개발에 필요한 사항을 규정함으로써 연안환경을 보전하고 연안의 지속가능한 개발을 도모하여 연안을 쾌적하고 풍요로운 삶의 터전으로 조성하는 것을 목적으로 함.
- 현재 해양수산부 주관(명지대 수행)으로 금강 염하구 생태환경연구가 진행되고 있으며, 최근까지 4대강 사업에 대응, 영산강 및 한강 등에 대한 염하구 생태환경 연구가 있었음.
- 수산과학원 등을 중심으로 섬진강에 대한 연구(2014년, 이재성)가 있었으며, 금강, 낙동강, 영산강 등에 대한 연구도 다수 수행됨
- 현재 KIOST 주관으로 섬진강 및 낙동강 하구에 대한 환경변화 연구가 수행중
- 하구역 해수순환과 생지화학 물질순환에 관련된 모델 중에서 국내에서 많이 사용되는 종류로는 ROMS, EFDC, FVCOM 등이 있음.
- EFDC를 제외하면, 국내 하구역 연구에 있어 생지화학 기작을 포함하는 수질 예측모델로 활용된 예가 거의 전무한 실정임.
- 현재까지 국내 연구의 경우 하천의 수질 모의는 대부분 해수의 영향이 미치지 않는 범위로 한정하고 있으며, 하구역에서의 수질 모의 연구는 광양만에서 3차원 수리-수질모델 (3D-Hydrodynamic Eutrophication Model, HEM-3D)의 적용 (Park et al., 2005), 영산강 하구역에서의 EFDC의 적용 (서동일 외) 사례가 있으

나 자료의 한계로 검증이 충분히 이루어지지 못한 상황임.

- 수리-수질 특성을 함께 고려할 수 있는 모델의 대표적인 것은 미국공병단에서 개발된 CE-QUAL-W2 모델(USCOE, 2002)임. CE-QUAL-W2 모델은 2차원 수리-수질 모델로서 우리나라에서는 김윤희 등(2001)과 서동일 등(1998)이 각각 소양호와 대충호의 성층현상 모의에 적용한 바 있음. 그러나 CE-QUAL-W2는 염분 농도에 의한 영향을 고려한 chl-a의 농도 변화를 분석하는 데에는 사용할 수 없음.
- WASP은 DiToro(1983)등에 의해서 처음으로 개발되었으며 2006년에는 3차원 수리동역학 프로그램인 EFCD-Hydro 프로그램과 연동해서 사용할 수 있도록 하는 WASP7이 발표되었음. WASP7은 3차원 수리-수질 모델링이 가능하며 염분 농도가 식물성 플랑크톤의 성장에 미치는 영향을 반영할 수 있는 장점이 있음. 국내에서는 주암호(이두섭, 2000), 시화호(서동일 등, 2001), 용담호(서동일, 2002), 대청호(서동일, 2002)등의 다수의 호소에 대하여 수질변화모의를 예측하기 위하여 적용된 사례가 있음.
- 환경-동진강, 섬진강, 영산강 하구에서 중형 동물플랑크톤 군집구조 및 요각류의 (알)생산력에 대한 연구 사례가 있음(서해립 등, 1991; 박철 등, 2002; 윤석현 등, 2010; 윤석현 등, 2012).
- 생태계 먹이 연쇄 연구 방법으로는 생물의 위에 남아있는 먹이를 확인하는 직접적인 방법부터 최근에는 안정동위원소를 방법이 전 세계적으로 이용되고 있는 반면, 국내에서는 아직 활발한 연구가 진행되어지고 있지 않음.
- 특히 안정동위원소비 분석을 활용한 하구역의 먹이망 구조 연구는 낙동강 하구역의 먹이망 구조 연구 (Choy et al., 2008), 하구역 관리체제 구축 연구(III)에 의한 섬진강 하구역 먹이망 구조 연구 등이 한시적으로 수행되었음.
- 지금까지 염하구 환경생태계 개선을 위한 다양한 공학적 방법이 제시된 바 있음.
- 방조제로 조성된 담수호에 있어서, 담수호 옆에 상시 개방형 하구를 가진 감조하천을 조성하되, 감조하천의 수위가 담수호 수위보다 낮게 유지되도록 하는 갑문을 하구에 설치하는 방조제 담수호 하구의 생태 복원용 감조하천 조성방법 (2005.06).
- 인공수초대를 조성하여 수서식물을 식재한 인공수로군을 뗏목처럼 결착한 시설을 호수 저수지 또는 댐 등 공유수면에 부유시키고, 반응조에는 공기를 공급하고, 인공수로에는 반응조에서 공급된 1차 처리수를 순환시켜 유기물, 인, 질소

를 제거하는 호수, 저수지 또는 댐의 수질개선 방법(2002.12).

- 침전을 이용한 약주 원심분리방식의 준설퇴적물정화장치 : 반폐쇄만, 하구역, 항만권, 온배수역, 양식어장역 및 내수면권의 준설퇴적물정화장치에 있어서 시설을 위하여 퇴적물을 흡입하기 위한 퇴적물 흡입펌프(2008.09).
- 원심분리를 이용한 준설퇴적물정화장치: 원심분리를 이용한 준설 퇴적물 정화 장치에 있어서 준설선에 설치되어 해저에 침전된 퇴적물을 흡입하는 흡입펌프 (2007.11).

2-2. 국외 연구개발 동향

- 유럽 등에서는 염하구 복원사업을 이미 오래 전부터 추진하고 있으며(예: 영국 하천복원센터(RRC)와 유럽하천복원센터(ERRC)가 1990년대 초반 출범, 가동 중), 특히 미국은 2000년 하구복원 관련법률(Estuary Restoration Act) 제정 및 복원사업을 실천 중
 - * 미국은 하구 관련 부처들의 혼재 및 하구 난개발 해결을 위해 2000년 하구복원법을 제정·시행 (육군 공병단과 해양대기청 주도, 내무부/환경청/농림부 등 참여; 관련 홈페이지 : www.estuaries.org; www.usace.army.mil/Missions/Environmental/EstuaryRestoration 등)
- '94년부터 5년간 흑해-다뉴브강 등 댐에 의한 흑해 생태계 변화 주적을 위한 연구프로그램(EROS: European River-Ocean System)을 수행하여 육상기인 영양염류의 해양유입 불균형으로 흑해 멸치어장 황폐화의 원인을 규명했으며, 후속사업으로 EROS-21 수행중.
- 영국의 템즈하구프로그램은 비법정 하구환경관리체제로 법적 구속력이 없는 자율관리프로그램
 - 영국 Mersey 하구관리 프로그램은 1) 수질 향상과 오염원 관리, 2) 생물의 종 다양성 유지: Ramsar Site, Eu special protection area, a site of special scientific interest, 3) 육상 이용과 발달, 4) 상업지구와 항구 발달, 5) 도시 재배치, 6) 관광, 7) 여과개발의 목표를 가지고 있으며, 2008년도에 Waterfront EXPO를 개최하였음.
 - Waterfront Expo는 2003년부터 개최되었으며, 하구역을 강 연안의 통합 관리수역으로 해석하며, 자연 친화적 환경관리 통합시스템을 소개하고, 공간활용을 물 관리 통합 체계 차원으로 접근하고 있음.

- 연안해역의 수질 관리를 위하여 미국은 National Estuary Program, Puget Sound Program, Chesapeake Bay program, 캐나다의 Fraser River Estuary 프로그램이 있음.
- 이들은 하구 또는 만으로 유입되는 육상기인 오염물질 저감하기 위한 유역의 인구, 축산, 산업의 점오염원과 다양한 비점오염원 관리를 포함한 포괄적 오염물질 저감 프로그램을 수행하며, 유역 통합관리를 기본 개념으로 하고 있음.
- 하구 환경에 대한 다학제적인 연구에 대한 결과 및 협력 Network을 구축하기 위하여 1971년 ERF(The Estuarine Research Federation)를 조직, 2년마다 연구 결과의 교류를 위한 Workshop 개최
- 미국의 San Francisco Estuary Institute에서는 오염물질 모니터링과 연구, 습지와 관련한 연구로 효과적인 관리 프로그램을 제시하여 정책적 활용을 가능하게 하고, 환경 관리자에게 샌프란시스코 만의 수질 정보를 제고하는 등 전문적인 하구 환경 연구를 하고 있음
- 미시시피강 유역과 북대서양 지역(발트해 유역)에서 하천을 통한 인위적인 질소 유입량은 대기 경로 유입, 연안의 점원 유입, 질소 고정에 의한 것보다 높으며(Howarth et al., 1996; Grimvall and Stålnacke, 2001), 인의 경우도 하천에 의한 유입이 높으며(Bennett et al., 2001; Grimvall and Stålnacke, 2001), Duce(1986)는 연안의 질소 유입량은 농업, 산업, 도시로부터 기원한 대기 유입이 40% 정도를 차지한다고 평가하는 등 경로별 유입량 산정에 대한 자료의 정확도 향상 노력
- 미국 EPA (Environmental Protection Agency)는 기수지역의 환경보호 프로그램을 개발하여 수질관리, 보전을 통해 자원관리를 하며, 기수지역의 이용과 보호를 위한 계획수립에 활용하고 있음 (EPA, 1992).
- 미국 NOAA에서는 1984년부터 전국연안을 대상으로 연안환경과 생물자원의 보호를 위하여 National Status and Trends (NS&T) Program을 실시하고 있는데, 이 프로그램은 Mussel Watch Project, Benthic Surveillance Project, Bioeffects Survey Project로 구성
- Mussel Watch Project를 통해 발견된 오염지역을 대상으로 퇴적물 독성의 공간적 분포와 오염물질이 생물에 미치는 영향을 Bioeffects Survey Project를 통하여 수행 중 (NOAA, 1998).
- 또한 미국은 1990년 연안관리프로그램(National Coastal Zone Management

Program): Section 303(2)을 통해 각 연안역에 대한 천연자원의 보호 및 해양 생물자원에 관한 종합적인 계획을 수립.

- 이 프로그램은 연안통합관리를 지속적으로 향상시키는데 목적이 있으며, 습지보호, 연안재해방지, 시민접근확보, 연안개발에 의한 누적피해 및 추가피해 방지, 특별해역관리, 해양관리, 해양쓰레기 유입방지, 에너지 시설 등 연방정부 시설의 장소 선정, 해양양식시설 장소 제공 등 9가지 사항 중 일부를 향상시키는데 재정 지원.
- 한편, 1972년에 제정된 연안관리법(Coastal Zone Management Act)에서는 국가하구 연구를 위한 보호구역 제도(NERRS: National Estuary Research Reserve System)를 규정하였으며, NOAA가 연안관리 프로그램의 일환으로 관리. 또한 1987년에 개정된 수질법(Clean Water Act)에서 국가하구 프로그램(NEP: National Estuary Program)을 제정, EPA와 함께 관리하도록 함.
- NEP는 주정부가 수행하고, EPA는 재정적 지원을 하는데, 이는 연안역 3마일 이내가 주정부 관할로 되어 있기 때문임.
- 대상은 수질개선과 생물자원 보호에 있으며, 경제적, 경관적 가치를 점차로 중요하게 여기고 있음.

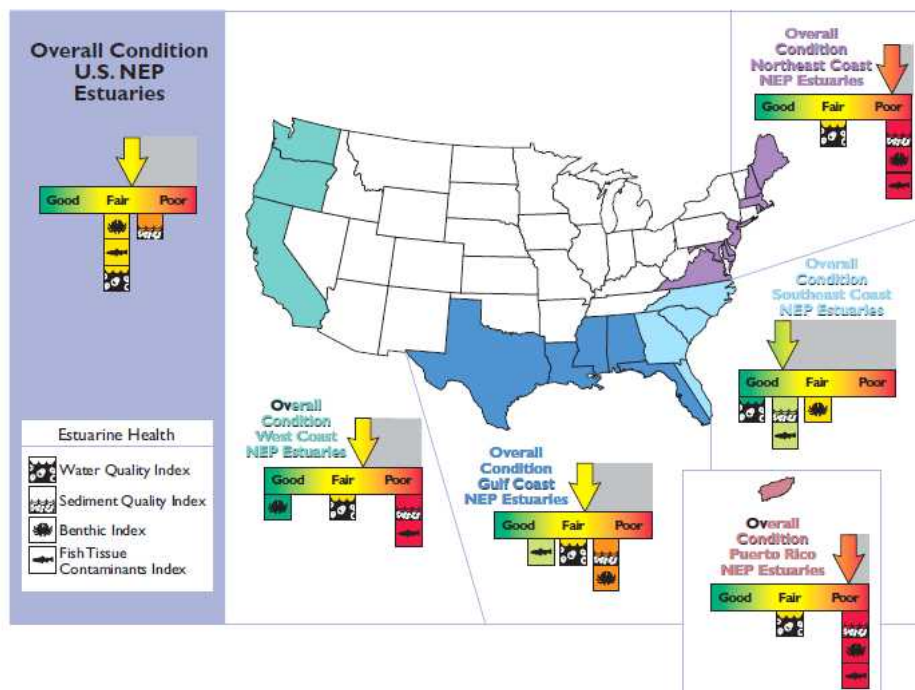
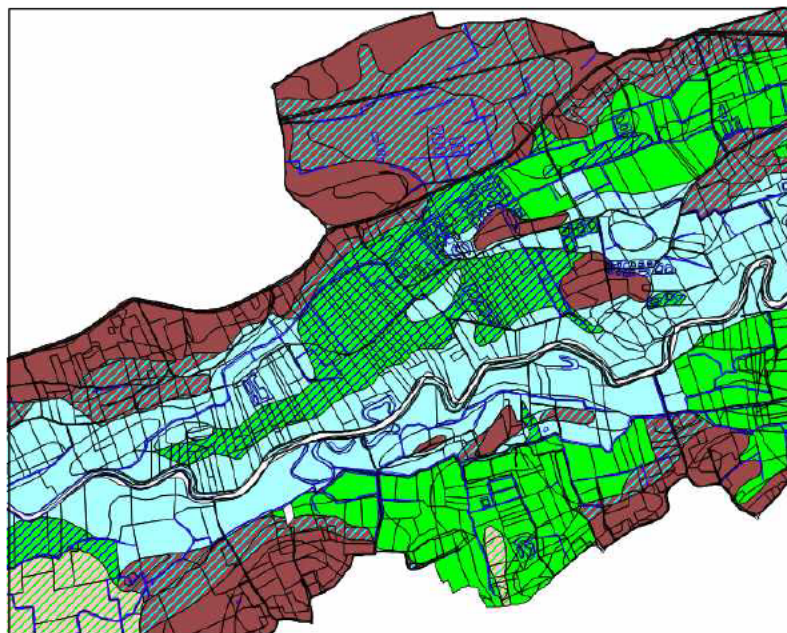


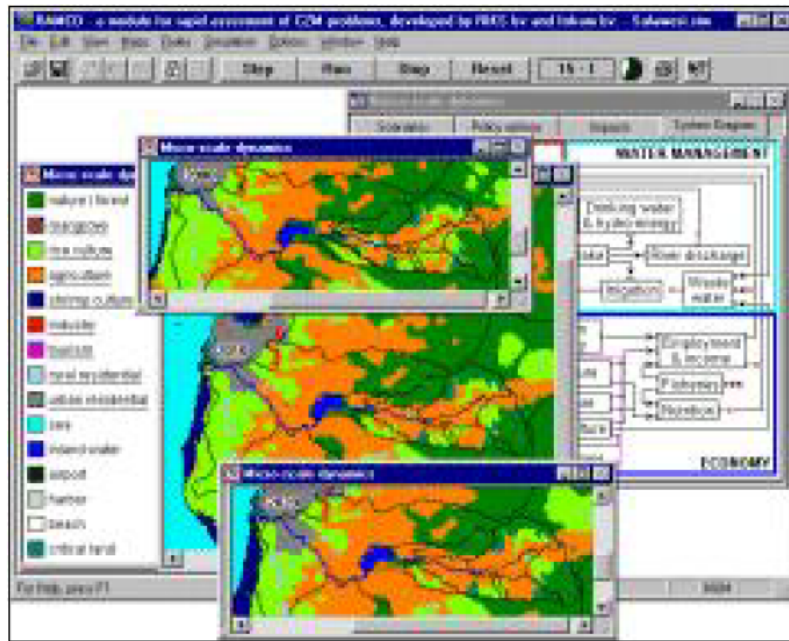
Figure ES-1. National and regional overall condition ratings for NEP estuaries based on NCA results (1997-2003).

<미국 NEP 프로그램 지역별 건강도 비교>

- 미국, 유럽 등 선진국은 잘 구축된 하구역 통합정보 시스템을 적극 활용 중
 - 선진국의 경우 과학조사 자료를 관리함에 있어 연구 참여자들이 자료에 손쉽게 접근할 수 있는 표준화된 DB 시스템을 구축하고 있음(예: Wadden Sea 3국 모니터링 프로그램, TMAP). 또한, 웹사이트 운용, 소개책자 발간 등으로 일반인들이 손쉽게 조사결과를 접할 수 있도록 하고 있음.
 - 생태계기반 관리의 선결조건은 적절한 과학 자료를 관리에 최대한 이용할 수 있도록 하는 것임. 이를 위해 미국에서는 다양한 이해당사자들의 의견이 반영될 수 있는 참여형 하구역 관리 프로그램을 운영 중임(예, Chesapeake Bay Program, Puget Sound Partnership, Mass Ocean Partnership).
 - 벨기에 Flanders 지역에서는 개발 수요압력에 따라 토지이용 계획과 생태계 관리계획을 결정하는 의사결정지원시스템이 개발되어 있음(EcoVisie Project). 인도네시아에서도 개발의 압력을 받고 있는 지역에서 인구증가에 따른 도시화로 인한 생태계 변화를 예측하고, 이를 관리에 반영하는 의사결정지원시스템을 개발함(RamCo Project).



<개발 적지 및 보존지역 분석의 예-EcoVisie Project>



<RamCo Project의 의사결정 시스템>

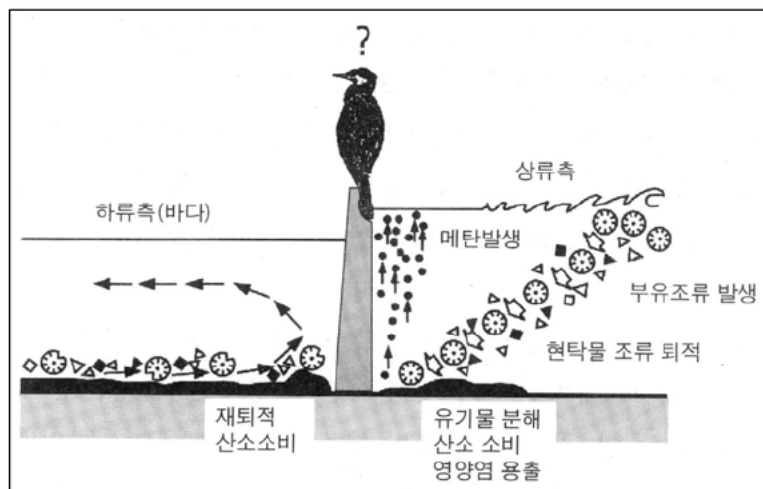
- 선진국에서는 염하구 환경-생태계 반응 예측모델을 적극 개발, 활용 중
 - 통합된 배수구역/수역학/퇴적물 이동/수질 모델들을 활용한 하구역 관리 도구를 개발, 적용(예, Billen et al., 2001; Cerco et al., 2002, 2004, 2012; Horn et al., 2004; Khangaonkar et al., 2012; Cerco and Noel, 2013).
 - ROMS는 1990년대 중반에 UCLA와 Rutgers (뉴저지 주립대)에서 개발되기 시작하여, 인터넷 발달에 힘입어 community model로 발전되었고, 이로 인해 퇴적물 이동, 수질, 생태시스템에 대한 모델링이 가능해졌으며, 다양한 참여자의 피드백이 모델수정에 곧바로 연결되는 학술적인 장점이 있으나, 실생활에 이용되는 모델의 응용기반은 약한 편임.
 - EFDC는 1990년대 버지니아 해양연구소 Hamrick 교수팀에서 개발된 수리역학 모델에 기반한 수질모델로서, 미국 EPA에서 공인되었으나, 모델 개선작업이 지지부진한 상태이며, 사용자의 피드백이 모델수정에 연결되지 않는 단점이 있음.
 - FVCOM은 최근 연안공학에서 상당히 각광을 받기 시작한 모델로서, 메사추세츠대 Chen교수팀에서 개발된 community model이나 아직은 사용자 층이 ROMS만큼 두텁지 못함. 따라서 모델수정이 활발하지 못한 편이고, 수리역학모델은 뛰어나지만, 수질·생태 모델은 잘 확립되어 있지 않음.
 - 해양순환 모델에 첨부된 퇴적물 이동모델의 경우, 위의 대다수 모델들이 퇴적

물 이동 모듈을 내재하고 있는데, 가장 최신기술로는 ROMS와 연계된 CSTM (Community Sediment Transport Modeling)을 들 수 있음. 미국 대학과 USGS의 공동노력으로 현재에도 계속 진화하고 있으며, 다수의 bed load와 suspended load 모듈을 포함하고 있고, 다양한 입자그룹을 지정해주고, 해저면의 지형변화까지 고려할 수 있는 능력을 보임.

- ROMS에는 생지화학 모듈 또한 잘 발달되어 있으며, 실제응용에 대해 학계의 인정과 함께 미국 정부기관들이 공인을 받고 있으며, 대표적인 예로 Chesapeake Bay와 Puget Sound에서 하구역 환경을 예측하는 모델로 활용되고 있음.
- 미국 체사피크만 프로그램은 통합된 모델 package를 적용하여 2025년까지 오염 저감 대책을 마련하고 이에 따른 배수구역 시행 계획(Watershed Implementation Plan)을 작성하였음.
- 좋은 예로 네덜란드에 있는 Deltares 라는 조직의 경우, Delft 대학교에서 개발한 수치모델들을 토대로 Delft3D라는 공개된 공공소프트웨어를 개발, 이를 토대로 베트남, 말레이시아 등의 저개발국가 및 유럽, 호주에서 호수, 강 및 하구역 관리 방안 수립용 도구 개발에 많이 참여(예, Leon et al., 2003; Patterson and Treloar, 2005; Spiteri et al., 2011).
- 기존 어도의 효율성을 평가하고 새로운 어도 건설에 필요한 고려 인자를 도출하기 위하여 수리학적 자료를 활용한 2D Free Surface Modeling 또는 3차원 수리학적 모델이 개발되었으며, 이는 어류의 최적 이동성 확보 및 어도의 효율성 증대를 위한 최적 방류량 결정에 활용되고 있음.

3. 우리나라 하구둑의 문제점

- 대형 하굿둑 건설은 홍수피해, 해일피해, 담수 확보를 동시에 해결한다는 점에서 매우 편리하고 효율적이며, 부가적으로 주변 하구갯벌의 간척효과를 동시에 얻을 수 있는 방법이기 때문에 전 세계의 많은 나라들이 과거 일반적으로 취해오던 치수정책
 - 그러나 대부분의 하구가 막히고 거의 모든 염습지가 파괴되어 버린 현대에 들어서, 세계는 하구환경의 가치에 대해 인식을 전환하고 있는 상황임.
- 하굿둑 건설에 의한 문제점은 다음과 같이 요약됨.
 - 수질악화 및 빈산소층에 의한 생태계 파괴
 - 퇴적물 오염에 의한 용출현상으로 악취발생, 산소부족에 의한 생태계 파괴
 - 퇴적물 오염에 의해 표층수의 수질이 개선되어도 지속적인 수질악화 초래
 - 하구호에 녹조현상이 발생하여 생태계 파괴, 생태계 파괴, 심미적 기능 손상
 - 하구호의 높은 퇴적률로 지속적인 퇴적물 오염 야기
 - 기수역의 파괴로 생태계 순환의 고리 차단
 - 육상기원의 조립질 퇴적물을 차단하여 연안침식, 해양생물 서식지 및 산란지 파괴 등 연안환경에 장기적인 피해
 - 하굿둑 하류측에 세립질 퇴적물의 축적으로 연안수질 악화 및 생태계 오염
- 위와 같은 하굿둑에 의한 문제점들은 개별적으로 발생하는 것이 아니라 동시다발적으로 발생



< 하굿둑 주변에서 발생하는 환경변화 >

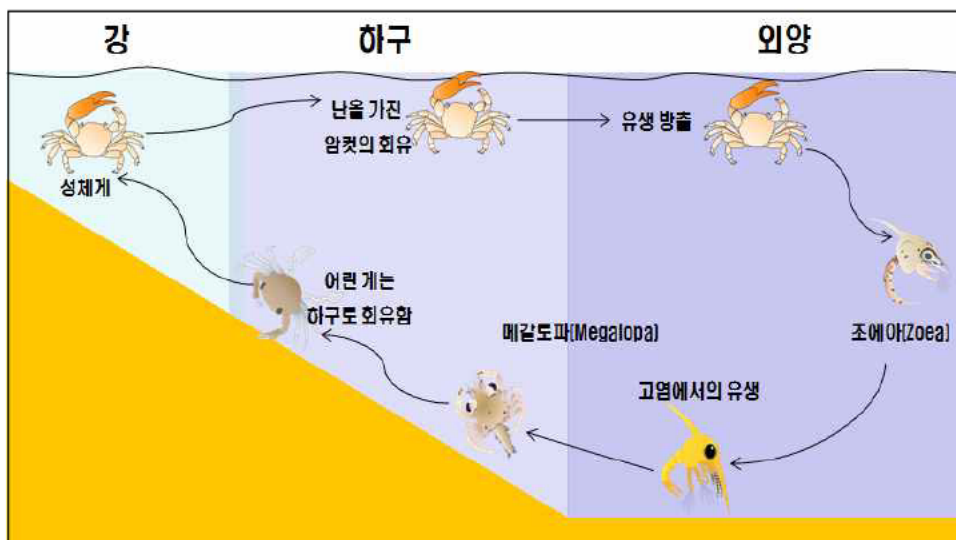
3-1. 하구 건설에 따른 호소 부영양화, Si 배출량 감소 및 호소 저층의 빈산소 수괴 형성

- 담수이용이나 홍수조절용으로 건설된 하구방조제는 과량의 영양염과 고형유기물 누적에 따른 단계적 서식지 교란으로 하구 고유종의 멸종위기를 초래
- 댐 전방 유속 감소는 세립질 고형물질의 퇴적을 용이하게 하여 침적 퇴적물의 유기물함량을 증가시키고, 하계 빈산소수괴 발생을 가속화.
 - 특히 하계에 상수원 수처리에 막대한 비용이 소요되고, 아울러 녹조 대발생은 저층의 용존산소를 고갈 시켜 저서생물의 생존을 위협
- 빈산소수괴 형성에 따라 어류에게 전달될 에너지가 차단되고 미생물에게 집중되는 물질순환 구조를 가진 미숙한 생태계 구조를 야기, 저서 생태환경계 악화 (Diaz et al., 2008).
 - 현재 하구댐 건설에 의한 퇴적물 내 유기물 증가와 빈산소수괴 발생은 영산강 하구역에서 빈번히 일어나며, 낙동강에서도 하구역 퇴적물의 세립화에 따라 유기물 함량도 증가하고 있고, 녹조가 매년 발생하고 있어 부분적 수문 개방이 적극 검토되는 중
- 4대강 사업으로 강물의 체류시간이 길어져 녹조류의 대발생이 빈번해지고, 해양으로의 담수 공급도 줄어 빈영양화된 표층 수괴에서 수직이동 기능이 있는 특정 와편모조류(유해종)가 효율적으로 영양염을 섭취, 대번성, 적조 발생
 - 자연하구에서는 염분구배로 인하여 특정 종이 대발생할 수 있는 기회가 줄어들고, 하구의 물리적 혼합에 의하여 표층주변에 생물집적을 어렵게 함.
 - 아울러 저층 퇴적물이 재 부유되어 표층주변의 광투과율이 현저히 낮아지고, 그 결과 광합성을 하는 식물플랑크톤의 폭발적 성장이 제어되어 적조, 녹조의 형성을 방지

3-2. 저서 및 수서 생태계 변화

- 하천 주변에 집중된 도시화와 오염물질의 과도한 유입으로 수체의 부영양화, 고형 유기물질의 침적과 분해 등이 만성적으로 발생

- 하구 부영양화로 퇴적물 내 유기물 함량이 증가하고, 빈산소수괴가 형성되어 'Dead zone' 의 영역이 확대되는 경향을 보임.
- 하구생태계는 조석주기에 따른 급격한 염분변화, 과도한 영양염 투입, 홍수기의 높은 탁도, 빠른 조류의 유속으로 인한 생물교란이 쉽게 발생
- 만성 부영양화된 하구역에서는 특정 오염원에 적응한 생물에 의해 생태계가 유지되는 경향이 강하여 생물 종 다양성이 크게 감소하고, 특히 하구저서생태계 건강성을 악화시킴
- 하구역은 수산생물의 서식처 및 산란장의 역할
 - 계류를 포함한 많은 기수역의 저서생물은 성체가 하구역에서 성장한 후 연안역으로 이동하여 산란을 함.
 - 연안에서 발생과정을 거친 유생과 어린개체는 하천으로 유입하는 조류에 실려 다시 하구역으로 이동하여 성장하게 되는 생활사를 가짐 (Forward and Tankersley, 2001).
 - 만약 이 과정에서 오염물질이 유입되거나 서식지 변형이 생기면 이들 하구 생물이 악영향을 받게 됨.
 - 또한 연어나 뱀장어와 같은 소상 또는 강하 이동을 하는 어류의 경우에도 하구역의 수질오염에 악영향을 받아서 정상적인 하구이동이 불가능해짐.



< 하구에 서식하는 계의 생활사 >

- 자연적인 하구에 방조제가 건설되어 물길이 막힌다면 저서생물의 정상적인 순기능 역할을 할 수 없게 됨
- 이러한 복합적 생태계 변화구조에도 불구하고 악화된 하구내 수생태계의 건강성은 주로 BOD, COD 등 이화학적 지표로 평가

3-3. 사례로 본 하구둑 건설에 따른 문제점

○ 금강호의 현황 및 문제점

- 현황

- 1990년에 홍수예방과 용수공급을 목적으로 1,010억 원을 투입하여 건설된 금강하굿둑으로 조성된 금강호는 주변지역에 공업용수와 농업용수를 공급하는 기능을 하고 있으며, 제방 1,841m에 총 저수량 1억3천8백만 m^3 를 보유
- 주요시설로는 방조제 1,127m, 배수갑문 714m(20련*30, 높이10.3m)가 있으며, 어도문1(9*5.3), 통선문2(10*10.2)이 설치되어 있음.
- 주요 기능으로는 농업용수 2.4억 m^3 (6만ha)과 생활용수·공업용수 1.2 m^3 (군장, 전주, 익산)를 공급하고, 2011년부터 전주, 익산공단에도 공급
- 주요시설 : 공업용수 취수장이 하굿둑 2km 지점(2천2백만 m^3), 농업용수 양수장이 서포 4.2km(2만ha), 나포 12.8km(1만8천ha), 화양 4.3km(6천ha)에 위치

- 문제점

- 첫째, 하굿둑의 건설로 인한 금강호의 수질악화 가중 : 물의 흐름 단절로 인한 수질악화 가속; 화학적 산소요구량(COD)은 증가하는 상황; TN, TP도 지속적으로 증가하고 있으며, 토사 퇴적에 의한 수질악화가 큰 문제점으로 대두되고 있음; 현재 3~4급수의 수질을 유지하고 있으나, 수질악화가 가속화되고 있어 향후 10~15년 후에는 갈수기 농업용수 공급에 문제 발생 예상
- 둘째, 하구환경의 파괴로 인한 연안어장이 황폐화 : 하구 내외측 모두 토사퇴적에 의한 생태계 파괴 심각; 농어촌공사의 자체 분석에 의하면 내측은 연간 80만 톤의 토사가 지속적으로 퇴적되고 있으며, 표층수의 수질은 개선되어도 퇴적물에 의해 지속적 수질악화 일로; 기수역 파괴로 생태계 순환의 고리 차단 및 이로 인한 하구역 수산업의 붕괴; 실뱀장어, 참게 등 회귀성 어종 감소 등 생물다양성 파괴

- 셋째, 하구 내.외측 토사퇴적으로 인한 홍수예방 및 항구 기능 쇠퇴 : 군산해양항만청에 따르면, 하굿둑에서 군산내항까지 연간 8.4cm, 군산내항에서 장항항까지 연간 13cm 토사가 퇴적되고 있으며, 2007년부터 5년간 950억 원의 사업비를 투자하여 준설; 장항항은 무역항으로서는 1만 톤급 2선석의 접안시설을 갖추고 있으나, 토사퇴적으로 5천 톤급 정도의 선박만이 접안 가능하며, 어항의 경우 토사퇴적으로 기능을 상실하여 이전이 불가피한 실정; 내측에 토사퇴적이 지속될 경우 수위 상승으로 인하여 홍수조절기능 약화 및 이로 인해 준설할 경우 또 다른 환경오염 피해가 발생

○ 영산호의 현황 및 문제점

- 현황

- 영산호는 1982년에 영암호는 1993년에, 금호호는 1996년에 완공되었으며, 개략적인 현황은 아래 표와 같음.

구분	완공 년도	구간	호소 면적	저수 용량
영산호	1982	영산강 하굿둑	36.6 km ²	253백만 m ³
영암호	1993	영암 방조제	42.9 km ²	245백만 m ³
금호호	1996	금호 방조제	23.3 km ²	133백만 m ³



- 영산호의 수질은 현재 화학적 산소요구량과, 부유물질량, 총대장균군수, 총인, 총 질소가 등급 외이고, 용존산소량만 4등급으로 수질오염이 심각한 수준으로 농업용수로도 사용이 어려운 상태(김준하, 2006)
- 하굿둑에 의한 하구생태계 및 연안 생태계의 파괴, 해수에 의한 정화작용 중지로 지속적인 영산호의 수질오염 가중, 세립질 퇴적물의 빠른 퇴적에 의한 용출현상으로 회복불능의 수질오염 야기, 조립질 퇴적물의 연안공급 중지로

연안어업 피해 및 장기적인 해안침식 야기, 폐쇄된 호수로서 관광호의 기능
취약 등 금강의 사례와 유사

3-4. 하구 건설에 따른 문제점 요약

- 위의 사례 등을 종합할 때, 주요 문제점은 다음과 같음.
 - 하구둑 내측 호소에 퇴적물이 빠르게 침적됨에 따른 부작용(호저 수위상승, 저서생태계 악화 등)
 - 하구둑 외측 지형 및 생태계 변화와 부작용(하구둑 외측에 퇴적토 침적 및 수로 변화, 저서생태계 변화 등)
 - 생태계 변화(수산자원 감소 포함) 및 수질 악화 등
- 이러한 모든 변화는 결국 물의 흐름 차단에 기인-파생되는 결과로, 문제 해결의 열쇠도 결국 하구환경 물의 흐름을 어떻게 회복시켜줄 것인가로 귀결

4. 기획 연구의 목적 및 연구내용

4-1. 연구목적

- “염하구 복원 최적방안 도출 및 복원·관리 실천전략 수립”을 위한 연구내용 기획
 - 그간 하구역 연구개발은 현황조사 및 법제도 개선 위주로 진행되어 왔으나, 문제를 제기할 뿐, 문제해결을 위한 구체적 방안이나 해결책 제시가 미흡했음.
 - 현재까지 이루어진 하구역에 대한 대부분의 조사는 기초적인 환경조사 및 생태조사 등에 국한되었고, 특히 현재 진행되는 하구조사 사업도 장기 생태계 모니터링, 독 내외측 수질, 생태계, 수산생물자원, 공간관리 등에 대한 비교연구, 생태 모델링, Web GIS 구축, 법제도 개선 등에 국한
 - 따라서 하구역에 이미 노정된 환경생태학적 문제점을 해결할 수 있는 현실적인 방안(복원기술 또는 “생태환경 개선방법”; 오염물질 유입량 감축, 개발제한 등 기 제시된 그리고 당연히 추진해야 할 사안은 제외) 연구개발이 필요
 - 본 연구에서는 하구역 하구역의 생태환경 문제를 종합적으로 진단-요약하고 실효적으로 해결할 수 있는 구체적이고 실천가능한 대안(방법, 기술) 연구개발 내용을 기획하고자 함.
 - 연구개발 기획은 우리나라 하구역에서 발생하고 있는 다양한 현안문제들에 대해 실효적으로 대응하고, 하구역의 지속가능 관리를 위해 요구되는 하구 현황자료, 복원기술, 예측모델, 거버넌스 및 정보시스템 등을 구현할 수 있는 방향으로 추진

4-2. 연구내용

- 실현가능한 하구복원 시나리오를 제시, 토론
 1. 배수갑문 증설 및 갑문 조작을 통한 해수 유통 방안
 2. 염수빼기 형성을 활용한 저층류 부분개통 방안(수문 변형-조작)
 3. 저층수의 일방향 배수를 통한 부분개통 방안(일방향 저층수 배수 장치)
 4. 기타 융합 방안

5. 기획 시나리오별 타당성 검토

5-1. 염하구 복원 시나리오별 타당성 검토

- 염하구 복원·관리방안은 1) 염하구가 하구언으로 막힌 현재의 상태를 유지하면서 염하구 환경·생태계를 보호하거나 개선하는 소극적 방법, 그리고 2) 하구언을 (일부) 개방하여 자연하구상태로 되돌리려는 노력을 하는 적극적 방법 등 두 가지로 나눌 수 있음.
- 전자의 경우, 해양수산부, 환경부 등이 협업을 통해 오염물질 유입 차단시설 확충, 개발제한, 호저퇴적물 준설, 어도 설치 등을 통해 추진될 수 있을 것으로 생각됨.
- 이러한 사항은 부처 간 조사 및 자료통합관리 협업시스템 구축, 통합관리시스템 구축 등을 하구복원법 제정 등을 통해 달성될 수 있을 것이고, 본 연구에서는 이러한 소극적 방법에 대해 논하지는 않겠음.
- 이러한 방법은 하구역에 노정된 환경생태학적 현안 문제점을 일부라도 해소한 다기보다는 문제를 덮어두거나 최소화시키는 방법임.
- 오염물질 차단이나 개발제한 등은 적극적 방법이든 소극적 방법이든 어떠한 상황에서든 추진되어야 할 정책임.
- 그러나 하구언 내측 호소에 침적되는 퇴적물을 매년 준설하는 것은 소극적 해결방법이라 할 수 있음.
- 여름철 호저에 형성되는 무산소환경은 소극적 보호개선 방법으로는 해결되기 어려운 사항임.
- 한편, 후자의 경우, 하구언을 전면 개방하는 것이 근본적 답일 수 있음.
- 완전 개방을 통해 자연하구의 생태환경 기능이 완전히 복원될 수 있을 것이나, 이 방법은 현실적으로 불가능한 방법으로 생각됨.
- 당장은 이해관계가 얽힌 해양수산부, 환경부, 국토교통부, 문화체육관광부 등 관련 부처들의 동의를 구하는 것이 난망하고, 현실적으로도 하구언과 함께 기왕 형성된 인간과 자연환경 생태계를 변화시킨다는 것은 쉽지 않음.
- 하구언이 존재함에 따라 이득을 보는 주민이 있을 수 있고(예: 낙동강의 경우

하구언 건설에 따라 울타리 섬이 형성되고, 울타리 섬이 폭풍해일 등 자연재해 방어기능을 가짐에 따라 하구언 주변 일부 주민들이 낙동강 하구언의 완전 개방을 원할지 여부는 미지수), 기관이 있을 수도 있음(예: 하구언 수문관리 주체 및 수문 관리기업, 호소 내 정온환경을 이용한 유락시설 운영업체 등).

- 더구나 하구언 완전 개방은 농공업 및 생활용수용 상수원을 상류를 이동하거나 대체 상수원을 찾아야 하는 등 막대한 비용을 지불해야 할 우려도 상당함.
- 따라서 본 연구기획에서는 하구언 완전개방이 현실적 방안이 아닌 것으로 판단, 고려하지 않을 것임.

○ 본 연구기획에서 제안하고자 하는 현실적 그리고 적극적 하구복원 대안은 부분개방 방식임.

- 즉 완전한 자연하구 상태로 되돌리기 보다는, 염하구 복원의 부작용을 최소화 하면서 기 노정된 닫힌 하구역의 생태환경 문제점 일부만이라도 해결할 수 있는 실천적 부분개방 방안을 제시하고자 함.
- 부분개방방식에는 해수의 조석의 힘에 의한 흐름 그리고 담수의 중력 흐름 등 두 가지 힘 모두를 이용해서 염하구 물이 하구언을 왕복하도록 수문조작을 하는 방식임.
- 부분개방방식에는 두 가지 힘 모두를 활용하는 방법, 그리고 담수의 중력흐름 한가지만을 이용하는 방법 등이 있음.
- 두 가지 힘 모두를 사용하여 왕복운동을 시킬 경우, 한 가지 힘만을 사용하여 일방향 흐름을 만드는 경우에 비해, 물의 흐름을 강하게 만들 수 있고 이에 따라 환경생태 문제를 보다 더 많이 해소할 수 있다는 장점이 있음.
- 그러나 조석의 힘을 이용할 경우 해수가 강 상류로 침투한다는 단점이 발생함.
- 한편, 부분개방 방식은 수문조작 등을 통해 염하구역 조성 범위를 통제할 수 있다는 장점이 있음. 예를 들면 수문조작을 통해 염분 침투 범위가 상수원과는 충분히 이격되도록 조절하는 방식으로, 낙동강 하구언 개방 방식으로 제안된 사례를 들 수 있음.
- 이러한 배경에 근거, 본 연구기획의 연구내용에서는 1. 배수갑문 증설 및 갑문 조작을 통한 해수 유통 방안, 2. 염수빼기 형성을 활용한 저층류 부분개통 방안

(수문 변형-조작), 3. 저층수의 일방향 배수를 통한 부분개통 방안(일방향 저층수 배수 장치), 4. 기타 융합 방안 등을 고려하고자 함.

- 각 방식에 대한 간략한 소개와 향후 추진되어야 할 세부 연구내용은 다음과 같음.

1) 배수갑문 증설 및 갑문 조작을 통한 해수 유통 방안

- 염하구에 배수갑문의 증설을 제기하는 까닭은 지구온난화에 따라 홍수 등 기상이변이 잦아지고, 이에 따라 홍수시 다량의 담수유입으로 하구언이 범람할 우려 예측에 근거
- 금강 하구언의 경우 군산쪽 하구언 갑문의 배수용량이 미래 홍수대비 부족하니 서천 쪽에 하구언 갑문을 증설해야한다는 주장을 예로 들 수 있음.
- 이 방안은 예측 불가능한 대규모 홍수에 대비하는 측면에서는 필요하나, 현재 염하구에서 당장 제기되는 문제는 자원생물 감소, 호저 수저질 악화 등 환경생태학적 문제임.
- 이러한 문제는 배수갑문 증설로 해결될 수 있는 사항은 아님.
- 현재 있는 배수갑문만 개방해도 당장의 환경생태학적 문제는 해소될 수 있음.
- 배수갑문 증설 문제는 재해대비 등 다른 차원의 문제이고, 다른 차원에서 검토되어야 할 문제임.
- 따라서 본 연구기획에서는 배수갑문 증설 및 갑문조작 방안은 고려하지 않을 것임.

2) 염수빼기 형성을 활용한 저층류 부분개통 방안(수문 변형-조작)

- 염수빼기란 담수에 비해 염수의 밀도가 높음으로 인해 해수와 담수 두 수괴가 만났을 때 해수가 저층에 가라앉는다는 자연과학적 현상
- 이러한 두 수괴 분포특성을 이용해서 하구언 저층을 통해 해수를 유입시켰을 경우 해수가 수층 하부로 흐르고, 상부에는 담수가 분포하므로 하구언 양방향으로 해류흐름을 만들 수 있다는 논리임.

- 실제 이러한 아이디어는 충남발전연구원에서 제기된 바 있고, 이를 보완하기 위해 상류쪽에 수중보를 설치하는 방안까지 제시된 바 있음.
- 낙동강에 제안된 “수문조작을 통한 해수유통방안”에도 이 개념은 반영되어 있음.
- 이 방안은 근본은 조석의 힘과 담수의 중력류를 수문조작을 통해 적절히 통제함으로써 해수침투범위를 조절한다는 것임.
- 실제 담수가 이류확산에 의해 담수-해수간 강한 성층을 이루는지는 불확실하며, 이는 조석의 반복과 시간의 변수를 고려한 수치모델링 등을 통해 염수뺀기 형성효과 등이 확인되어야 함.
- 이 방안은 가장 일반적으로 고려될 수 있는 현실적 대안으로 생각되나, 좀 더 심도있는 연구가 필요함.
- 즉 반복적 수문조작을 통한 호저 수저질의 실질적 개선효과 평가(수치 모델링 및 실측)와 하구언 주변 세굴현상 예측 및 대안수립, 해수침투 범위를 1 permil로 모델링했을 때의 민원제기 가능성에 대비해 0.5 permil로 재계산할 필요성 등에 대한 연구가 필요

3) 저층수의 일방향 배수를 통한 부분개통 방안(일방향 저층수 배수 장치)

- 이 방법은 담수를 배수갑문을 통해 통상적으로 배수하는 방식을 탈피해 배수 갑문 최 저층 또는 그 이하에 배수터널을 설치하되, 해수는 최소로 유입되고 담수만 유출되도록 하는 방식
- 하구언 등에 설치되는 제염암거를 유사한 개념의 일방향 배수장치로 이해될 수 있음.
- 즉 바다쪽으로만 저층 담수가 배수되도록 설계함으로써, 산소가 고갈된 호저 수괴와 호저의 무산소 니질 퇴적체가 바다쪽으로 배출되도록 설계하는 방식임.
- 이 방안은 하구언으로 막힌 호소로 해수가 유입되는 것이 최소화되기 때문에 담수 용수공급의 우려, 해수유입에 따른 호수 수면상승과 정온환경 교란 우려 등이 불식될 수 있는 장점이 있음.

- 그러나 이 방법은 물의 흐름이 약화되기 때문에 호저 수저질의 개선효과가 의문시되고, 재첩 등 자원생물의 서식지 복원이 미약할 것으로 생각됨. 즉 상기 2.번 항의 염수빼기 형성을 이용한 양방향 해수-담수 유통방안에 비해 좀 더 소극적인 방안으로 생각됨.
- 이 방안을 도입하기 위해서는 호저 세굴현상 및 호저 수저질 환경개선에 대응한 최적 설계방안 연구, 하구언 재시공에 따른 경제성 평가 등이 수행되어야 할 것임.

4) 기타 융합 방안

- 본 융합방안은 2.의 염수빼기 형성을 활용한 부분개방 방안 그리고 3.의 일방향 담수 배수장치 설계-설치에 의한 가장 소극적인 방안을 융합한 중간수준의 소극적 방안으로, 조석 최소이용 그리고 담수흐름 최대 이용 방안임.
- 이 방안은, 갈수기시 최소 해수유입을 통한 해수흐름 강화 자동 수문장치 설계 등을 연구하는 것이 필요

5-2. 향후 기획시 고려사항

- “염하구의 생태환경적 가치(섬진강 하구를 모델로 평가)와 염하구 훼손의 문제점(한/낙동/금/영산강을 중심으로 평가)을 정성·정량적으로 비교 연구”를 위한 세부내용 기획
- “염하구 복원 시나리오별 경제적 가치 평가” 등을 위한 세부내용 기획
 - * 염하구 주변 및 인근 해역의 환경생태적 가치 개선효과, 호저 퇴적물 준설 비용, 대체 공업용수 확보 비용, 농업용수 공급 방안, 하굿둑(수중보) 변형 비용 등
- 거버넌스 및 관련법 제정 등을 위한 세부내용 기획

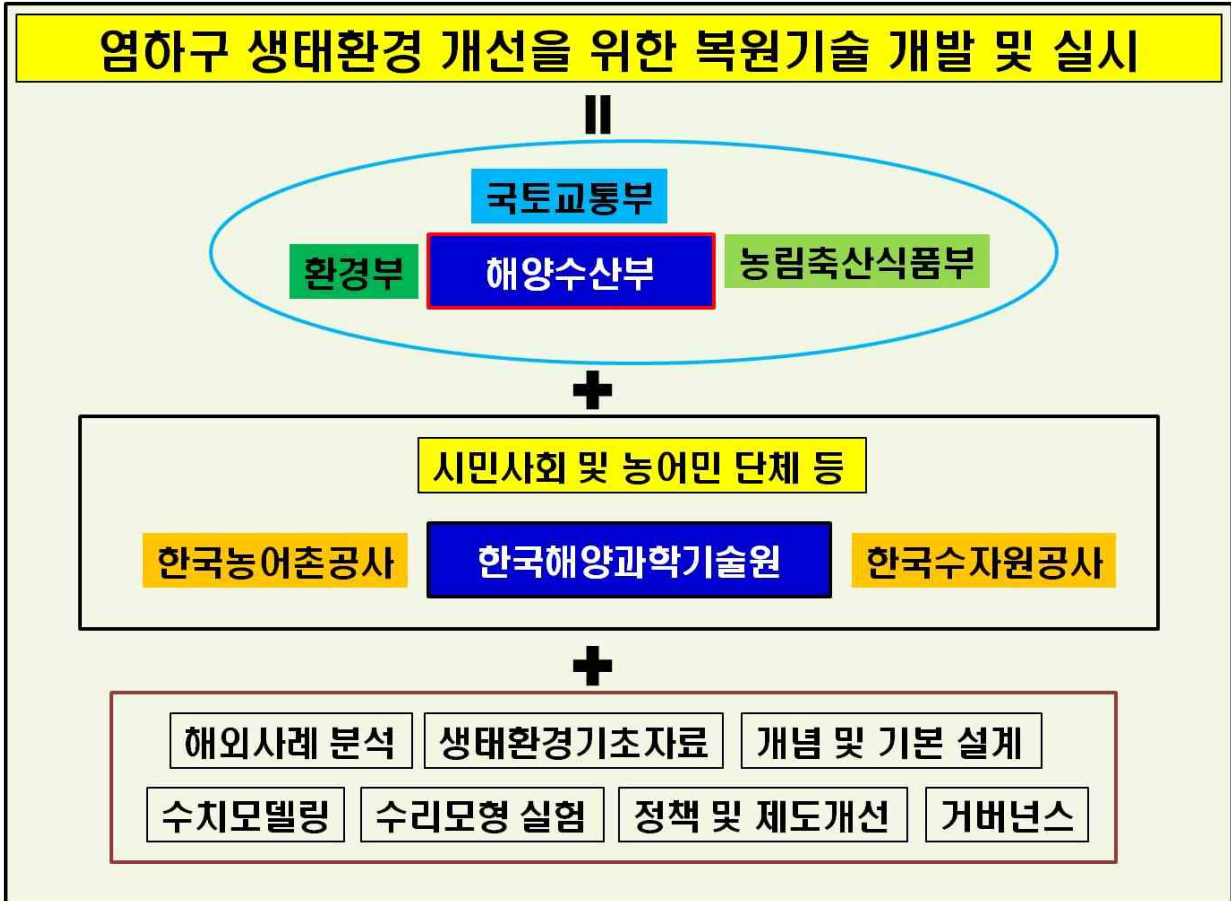
6. 연구 추진 체계 및 방법

6-1. 개념설계

- 앞에서 제시한 4가지 시나리오에 대해 기본설계, 상세설계를 수행하고, 설계를 위해 필요한 현장자료(수심, 지형 등)를 수집(또는 일부 조사) 시행
- 수치모형 실험의 목표설정을 위해, 염분 최대 확산거리 등을 설문조사를 통해 도출
 - 도출된 목표와 수집된 자료를 바탕으로 수치모형실험 실시
- 수치모형 실험결과에 따라 각 하구별 수행 요구사항 도출 및 상세 기술
- 수행 요구사항 실천을 위한 법제도 및 거버넌스 등 실천방안 수립
 - 참여 필요 전문가 : 염하구 생태환경 전문가, 항만공학 전문가, 수산 및 어류 전문가, 해양법 및 경제성 평가 전문가 등
 - 미국은 하구복원사업에 소하천까지 포함시키고 주변 환경개선 등을 포함하는 등 방대한 분야(영역)에서 관련 사업을 추진하고 있으나, 본 기획사업에서는 우리나라 5대강에 한정된 내용으로 축소하여 기획
- 연구개발 형태는 환경생태학과 해양공학이 균형을 이룬 융합연구로 추진되어야 하며, 이러한 융복합 연구단 수행에 적합한 연구주체를 선정하여 권한과 책임이 분명한 조직으로 운영
- 자료 공동활용과 연구성과 극대화를 위해, 국내 해양전문 국가연구기관 (해양조사원, 수과원, 기상연, 환경연, 환경정책연, 건기연, 인천시발전연 등) 및 출연 연구기관, 시민환경 단체 등의 참여 활성화
- 하구 연구사례를 벤치마킹하기 위해, 해외 관련 연구기관(또는 대학)과 협력
- 역할분담 및 추진체계
 - 총괄분야는 하구에 대한 종합적인 조사 및 연구홍보, 유기적인 연구분야 운영을 담당하고, 세부분야로 1) 하구역 수리-부유퇴적물 모델링 연구, 2)하구역의 생지화학적 현황 규명 및 육상기인 오염부하량 추정 연구, 3)하구의 운영 상황-기능 평가 및 생태모델링 기반 대안 제시 연구, 4) 하구역의 적정 관리-기능 복원을 위한 정책연구로 구성

6-2. 추진 체계도 및 연차별 추진계획

○ 위에서 토론한 사실을 종합적으로 고려하여 아래와 같은 추진체계도를 제시



○ 본 연구사업은 5년동안 총 75억원의 예산 투입을 예상하며, 위 추진체계도에 표시된 바와 같은 연구내용을 중심으로 예산이 소요될 것임

- 1차년도 : 해외사례분석, 생태환경 기초자료 수집 및 분석, 각 연하구별 환경의 특성화, 기술의 개념 설계, 사회시민단체 및 관련 기관/부처와의 정책협의 (소요 예산: 10억원)
- 2-3차년도 : 개념설계 완료, 각 연하구별 수치모델링, 수치모델링 결과에 따른 수리모형실험 구조물 설치 및 실험, 사회시민단체 및 관련 기관/부처와의 정책협의(소요예산 : 40억원)
- 4차년도 : 수리모형 실험 완료 및 정책 제도개선 방안 도출, 사회시민단체 및 관련 기관/부처와의 정책협의(소요예산 : 15억원)
- 5차년도 : 법제도 개선 및 거버넌스 조정-확립, 확보기술 적용 등(10억원)

7. 기대효과 및 활용방안

7-1. 기대효과

- 우리나라 하구 생태환경 가치의 극대화(관리비용 절감 및 생산 유발효과 향상 등) 및 주변 지역주민 삶의 형태 전환(예: 농업→ 관광업, 수산업) (수혜 대상 : 하구역 주변 거주민, 일반 국민 등)
- 관계부처(기관)(예: 해양수산부, 농림부, 환경부, 주변 도시, 농업기반공사, K-water 등)과의 선제적 협력을 통해, 해양수산부의 하구역 관리 역량과 위상 강화
- 우리나라 전 국토관리 차원의 국가사회 현안문제 해결을 위한 연구기획을 제안-추진함으로써, 정책기관으로서의 KIOST 위상 강화

7-2. 활용방안

- 우리나라 5대강 하구역의 실현 가능한 복원정책 수립을 위한 기획연구에 활용
 - 현재 수행중인 KIOST 주요사업을 비롯 KIMST 사업, 기 수행된 관련사업 등 수많은 하구역 생태환경 연구결과가 실제 정책적 활용이 가능한 연구로 승화 되도록 활용
- 하구역 관리 및 기능회복기술의 개발은 국내 346개 하구 뿐만 아니라 동아시아의 수 천개에 이르는 하구 복원에 직접 활용되어 막대한 부가가치를 창출할 수 있는 잠재력을 가지고 있음.

[부록 1] 기획연구사업 과제 계획서

과 제 명		염하구 복원·관리 기술개발 기획사업 (Estuary Restoration project : EstuaRE project)			
사 업 분 류		분 야 별		성 격 별	
		미래자원(), 환경보존(○) 해양공간(○), 지구환경() 기 타()		기초(), 응용(○), 개발()	
연구 책임자	총괄	소속 및 부서명	해저환경자원연구본부	직 급	책임연구원
		성 명(한자)	정회수 (鄭會秀)	전 공	해양지화학
		연락처(원내 전화번호)		255	
	차순	소속 및 부서명	해저환경자원연구본부	직 급	책임연구원
		성 명(한자)	박준용	전 공	해양지질학
		연락처(원내 전화번호)		779	
연구비		총 연구비(천원)		직 접 비(천원)	
		6,000		6,000	
연구기간		2015. 10. 01. - 2015. 12. 31. (3개월)			
<p>관계규정과 제반지시사항을 준수하면서 본 연구사업을 성실히 수행하고자 별첨과 같이 제출합니다.</p> <p>(개인정보수집동의) 개인정보보호법과 관련하여 연구책임자 및 과제참여연구원의 개인정보는 연구사업 수행기간에 한하여 연구수행 및 평가의 목적으로만 활용됩니다. 이에 동의하십니까? 예(√) 아니요()</p> <p style="text-align: center;">2015년 10월 05일</p> <p style="text-align: right;">연구책임자 : 정 회 수 인</p> <p style="text-align: center;">한국해양과학기술원</p>					

1. 연구개발의 필요성

- 하굿둑(보) 등으로 막힌 우리나라 4대강 염하구의 환경-생태적 문제는 오래 전부터 심각 (예: 2015년 한강 녹조, 낙동강 녹조, 금강호 오염, 영산호 오염 등; 다수의 관련 기사).
- 염하구 문제 해결을 위한 정부의 오랜 노력에도 불구하고, 아직도 뚜렷한 과학적 방법과 대안을 찾지 못함.
- 해양수산부-농림부-환경부 등이 얽힌 염하구 환경문제의 합리적 해결을 위한 공감대(예: 부분 개통)에도 불구하고, 관계 부처의 해결노력은 미흡 또는 의도적 외면
- 해결노력 미흡(외면)의 주요 원인은 염하구 환경생태 가치의 중요성 등에 대한 대국민 설득력과 해결압력 부족이며, 그 결과 문제를 해결하기 보다는 문제를 감내하고 묵인해 오는 현실
- 대국민 설득 및 복원 추진동력 확보를 위해, 우리나라 유일 보전 염하구인 섬진강 염하구 그리고 훼손된 한·낙동·금·영산 강 염하구간 생태환경 가치 비교 연구-홍보, 정책도출 필요
- 한편, 한반도 기후 변화와 해수면 상승 등은 염하구에 또다른 문제를 야기 (예: 염하구 바다화 및 수산자원 피해, 연안역 해수 침투에 따른 농업피해와 산업단지 담수 부족 등)
- 염하구 시스템 변화는 연안 적조, 빈산소 수괴 형성, 백화 현상 확장 등에도 기여하므로, 염하구 관련 정보·지식은 연안환경 문제 해결을 위해서도 필요

2. 국내외 연구동향

가. 국외

- 유럽 등에서는 염하구 복원사업을 이미 오래 전부터 추진하고 있으며(예: 영국 하천복원센터(RRC)와 유럽하천복원센터(ERRC)가 1990년대 초반 출범, 가동 중), 특히 미국은 2000년 하구복원 관련법률(Estuary Restoration Act) 제정 및 복원사업을 실천 중

* 미국은 하구 관련 부처들의 혼재 및 하구 난개발 해결을 위해 2000년 하구복원법을 제정·시행 (육군 공병단과 해양대기청 주도, 내무부/환경청/농림부 등 참여; 관련 홈페이지 : www.estuaries.org; www.usace.army.mil/Missions/Environmental/EstuaryRestoration 등)

나. 국내

- 현재 해양수산부 주관(명지대 수행)으로 금강 염하구 생태환경연구가 진행되고 있으며, 최근까지 4대강 사업에 대응, 영산강 및 한강 등에 대한 염하구 생태환경 연구가 있었음.
- 수산과학원 등을 중심으로 섬진강에 대한 연구(2014년, 이재성)가 있었으며, 금강, 낙동강, 영산강 등에 대한 연구도 다수 수행됨.
- 현재 KIOST 주관으로 섬진강 및 낙동강 하구에 대한 환경변화 연구가 수행중

3. 연구개발목표

가. 정성적 연구개발 목표

- “염하구 복원 최적방안 도출 및 복원·관리 실천전략 수립”을 위한 기획

나. 정량적 연구성과 목표

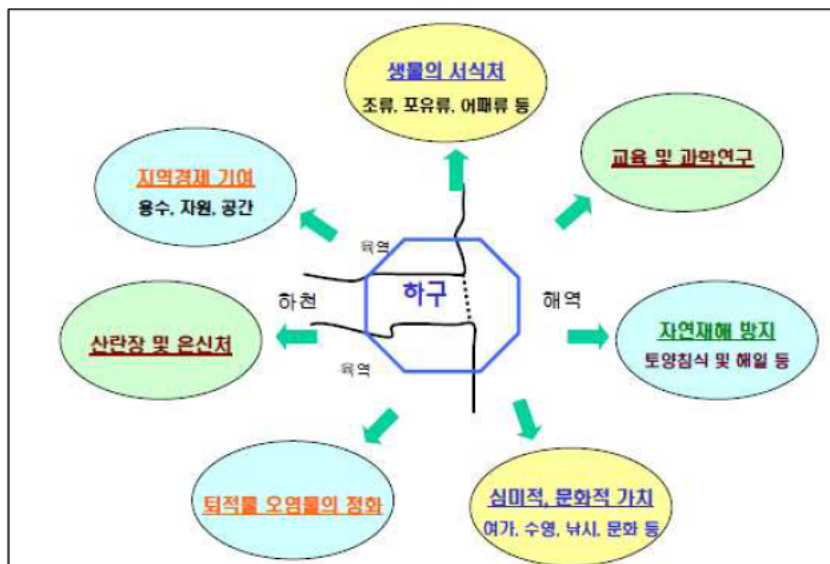
구 분		계 획					
		국외			국내		
논문	SCI	기타	소계	SCI	기타	소계	
Proceeding		국외			국내		
단행본		기획결과보고서					
특허	출원						
	등록						
기술실시계약							
기타사항							

4. 연구개발내용

- “염하구의 생태환경적 가치(섬진강 하구를 모델로 평가)와 염하구 훼손의 문제점(한/낙동/금/영산강을 중심으로 평가)을 정성·정량적으로 비교 연구”를 위한 세부내용 기획
- “염하구 복원 시나리오별 경제적 가치 평가” 등을 위한 세부내용 기획
 - * 염하구 주변 및 인근 해역의 환경생태적 가치 개선효과, 호저 퇴적물 준설비용, 대체 공업용수 확보 비용, 농업용수 공급 방안, 하굿둑(수중보) 변형 비용 등
- 거버넌스 및 관련법 제정 등을 위한 세부내용 기획

5. 추진전략, 추진체계 및 방법

- 참여 필요 전문가 : 염하구 생태환경 전문가, 항만공학 전문가, 수산 및 어류 전문가, 해양법 및 경제성 평가 전문가 등
- 미국은 하구복원사업에 소하천까지 포함시키고 주변 환경개선 등을 포함하는 등 방대한 분야(영역)에서 관련사업을 추진하고 있으나, 본 기획사업에서는 우리나라 5대강에 한정된 내용으로 축소하여 기획할 예정임.



[하구 생태계의 기능과 가치, 이창희 등, 2011]

6. 기대성과

- 우리나라 하구 생태환경 가치의 극대화(관리비용 절감 및 생산 유발효과 향상 등) 및 주변 지역주민 삶의 형태 전환(예: 농업→ 관광업, 수산업) (수혜 대상 : 하구역 주변 거주민, 일반 국민 등)
- 관계부처(기관)(예: 해양수산부, 농림부, 환경부, 주변 도시, 농업기반공사, K-water 등)과의 선제적 협력을 통해, 해양수산부의 하구역 관리 역량과 위상 강화
- 우리나라 전 국토관리 차원의 국가사회 현안문제 해결을 위한 연구기획을 제안-추진함으로써, 국책기관으로서의 KIOST 위상 강화

7. 활용방안

- 우리나라 5대강 하구역의 실현 가능한 복원정책 수립을 위한 기획연구에 활용
- 현재 수행중인 KIOST 주요사업을 비롯 KIMST 사업, 기 수행된 관련사업 등 수많은 하구역 생태환경 연구결과가 실제 정책적 활용이 가능한 연구로 승화 되도록 활용

8. 연구원 편성

가. 참여연구원 구성

성명	직위(급)	소속	학위	연구수행분야
정희수	책임연구원	해저환경자원연구본부	박사	연구총괄
임동일	"	남해연구소	"	수저질환경
우한준	"	해저환경자원연구본부	"	퇴적환경
정갑식	"	해저환경자원연구본부	"	퇴적지화학환경
이달수	명예연구위원	연안개발연구센터	"	연안구조물
박준용	책임연구원	해저환경자원연구본부	"	퇴적경관환경
강정훈	"	남해연구소	"	생태환경
김성	"	생태기반연구센터	"	생태환경
박세헌	"	정책연구소	"	정책
소재귀	"	해양순환기후연구센터	"	모델링
이재성	"	환경기반연구센터	"	생지화학 환경
백승호	"	남해연구소	"	생태환경

나. 연구책임자

1) 인적사항

성명	국문	정희수	직위(급)	책임연구원
	영문	Jung, Hoi-Soo		
주소	주택		(Fax:)	(E-mail:)hsjung@kiost.ac.kr
	직장	경기도 안산시 상록구 해안로 787		
주민등록번호				

2) 학 력

연도(부터-까지)	학 력	전 공	학 위
1981-1985	서울대 해양학과	해양학	학사
1985-1987	서울대 대학원 해양학과	해양지화학	석사
1991-1994	서울대 대학원 해양학과	해양지화학	박사

3) 경 력

연도(부터-까지)	기 관	직위(직명)	비 고
1997~1998	우즈홀해양연구소(미국 WHOI/MIT)	연수연구원	
2006~2008	한중해양과학공동연구센터 (중국 칭다오)	소장	
2012.1~2012.12	국가교육과학기술자문회의	상근 전문위원	

4) 주요연구업적

연구제목	발표서적 또는 학술지명(년호권호 포함)	연구수행당시의 소속기관	역할	비고
Quantitative compensation of grain-size effects in elemental concentration: A Korean coastal sediments case study	ESTUARINE COASTAL AND SHELF SCIENCE, v.151: 69-77	KIOST	주저자	

9. 연구비 소요명세서

가. 총괄표

(단위 : 천원)

목 번 호	비목		구분	비목별 연구비		비고
				금액	비율(%)	
1		간접비		0	0	
		개발준비금		0	0	
		소계		0	0	
2	내부인건비	내부인건비		0	0	
3	외부인건비	외부인건비		0	0	
	직접경비	여비 및 교통비		1,500	25	
		회의비		1,375	23	
		기술정보활동비		3,000	50	
		지적재산권처리비		0	0	
		연구기자재 및 시설비		0	0	
		재료 및 전산처리비		0	0	
		시작품제작비		0	0	
		수용비 및 수수료		125	21	
		과학문화활동비		0	0	
		연구실안전관리비		0	0	
연구관리비		0	0			
	소계		6,000	100		
	총액		6,000	100		

※ 위탁연구개발비 계상 불가

※ 과제계획서 상에 없는 범용성 장비(소프트웨어 등)의 경우, 사업수행 중간에 구매 불가

나. 비목별 연구개발비 소요명세

(1) 간접비

0원

(2) 인건비

0원

가) 내부인건비

0원

성명	소 속	직 급	주민등록번호	월급여 (원)	참여기간 (개월)	참여율 (%)	인건비 배분액(원)
정희수	해저환경자원연구본부	책임연구원			3		
임동일	시료도서관	"			3		
우한준	해저환경자원연구본부	"			3		
정갑식	해저환경자원연구본부	"			3		
이달수	연안개발연구센터	명예연구위원			3		
박준용	해저환경자원연구본부	책임연구원			3		
강정훈	남해연구소	"			3		
김성	생태기반연구센터	"			3		
박세현	정책연구소	"			3		
소재귀	해양순환기후연구센터	"			3		
이재성	환경기반연구센터	"			3		
백승호	남해연구소	"			3		

나) 외부인건비

0원

(3) 직접경비

6,000,000원

가) 여 비

① 국내여비

1,500,000원

내역	직급	인원수	회수	단가	합계(원)	비고
시내출장	책임	4	5	25,000	500,000	
안산-대전	책임	2	5	100,000	1,000,000	
소계					1,500,000	-

② 국외여비

0원

나) 회의비

1,375,000원

내역	계산근거	합계(원)	비고
분과 토론	5인×20,000원×10회	1,000,000	
종합 토론	10인×18,750원×2회	375,000	
소계		1,375,000	

※ 기획사업의 특성상, 연구사업이 정하는 비중보다 높은 회의비 계상이 필요함

다) 기술정보활동비

3,000,000원

내역	계산근거	합계(원)	비고
국외전문가 활용 (세미나 및 자문)	00인×00원×00회		
국내전문가 활용 (세미나 및 자문)	4인×250,000원×1회	1,000,000	
세미나개최	1,000,000원×2회 (회의장 대여료: 750,000원/회, 빔프로젝터 및 세미나 물품 대여료: 250,000원/회)	2,000,000	라비돌 기준
해외훈련비	해당없음		
논문게재료 및 수수료	해당없음		
수수료(원고, 번역, 통역, 보고서, 매뉴얼 등)	00인×00원×00회		
학회참가비	해당없음		
소 계		3,000,000	

※ 전문가 활용, 국내·외 훈련, 기술정보활동비, 도서 등 문헌 구입비, 세미나 개최비, 학회·세미나 참가비, 원고료, 통역료, 속기료, 기술도입비, 등으로 연구기관이 정한 기준에 따른 경비 또는 실 소요경비

◎ 전문가 활용의 필요성

활용 필요성 및 사유	기존 관련연구를 수행한 연구자 및 현재 관련연구를 수행중인 전문가를 초청해 세미나를 개최함으로써, 염하구 관련정보를 확보
당해 연구개발사업에의 관련내용	염하구의 환경생태 기능 연구개발 결과, 복원 관련 쟁점사항, 이해당사자간 갈등사항, 정치사회적 관심사항 등
활용 시기, 방법 등	10월-12월 중 초청 세미나

※ 활용 필요성 및 연구개발 관련 내용은 구체적으로 기술함

라) 지적재산권처리비

0원

마) 연구기자재 및 시설비

0원

① 기자재비

0원

② 시설비

0원

바) 재료 및 전산처리비

① 시약 및 재료비

0원

② 전산처리비

0원

③ 시험분석료

0원

사) 시작품 제작비

0원

아) 수용비 및 수수료

※ 과제와 직접 관련 있는 인쇄·복사·인화·슬라이드 제작비, 제세공과금 및 수수료·사무용품비 등

125,000원

내역	계산근거	합계(원)	비고
인쇄 복사	125원/매x1,000페이지	125,000	흑백 및 컬러 인쇄
소 계		125,000	

자) 과학문화활동비

0원

차) 연구실 안전관리비

0원

(4)연구관리비

0원

10. 선정평가 지적사항 반영내역

지적사항	반영내역
<ul style="list-style-type: none"> ■ 4대강 부작용, 생태환경 악화 차원에서 시의성과 필요성 높음 ■ 경제성평가, 법안마련 등 실효적 수단 강구를 목표로 한다는 실용성 우수 ■ 학제성 우수 ■ KIOST목표/기능 부합성 좋음 ■ '염하구상시' 모니터링의 KIOST고유기능화 기대됨 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기획과정중 더욱 강화하겠음
<ul style="list-style-type: none"> ■ 시급성 부족 ■ 타 기관과 중복성 우려 ■ 원내 타 과제 (우한준 낙동강 하구, 정희수 섬진간 하구)와 중복성 우려 ■ 기술개발보다 너무 법제도적 접근 위주 ■ 타 유사제안과 공동기획 요망 ■ 타 부처/기관 유사사업과 차별성 부각요망 ■ 선행연구부터 해야할 듯 ■ 해수부/KIOST가 주도해도 되는 지 확인요 ■ 담습지화되고있는 염하구의 복원은 국가사회적뿐 아니라 학술적으로도 유의미 ■ 4대강 보 철거시 하구생태계 변화 예측 포함학제적 접근 필수 ■ 만(bay) 생태계기반 지속가능 생산성 향상 제안(명정구)와 연계추진 고려바람 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기획과정중 고려, 보완, 반영하겠음
<ul style="list-style-type: none"> ■ 단시간(3개월내) 기획완료가 불가할 듯 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 서둘러 밀도있게 기획시행하겠음

11. 2015년도 과제 요약서

과제명 : 염하구 복원·관리 기술개발 기획사업

가. 사업목표 및 기대효과

□ 사업목표

- “염하구 복원 최적방안 도출 및 복원·관리 실천전략 수립”을 위한 기획

□ 기대효과

- 우리나라 하구 생태환경 가치의 극대화(관리비용 절감 및 생산 유발효과 향상 등) 및 주변 지역주민 삶의 형태 전환(예: 농업→ 관광업, 수산업) (수혜 대상 : 하구역 주변 거주민, 일반 국민 등)
- 관계부처(기관)(예: 해양수산부, 농림부, 환경부, 주변 도시, 농업기반공사, K-water 등)과의 선제적 협력을 통해, 해양수산부의 하구역 관리 역량과 위상 강화
- 우리나라 전 국토관리 차원의 국가사회 현안문제 해결을 위한 연구기획을 제안·추진함으로써, 정책기관으로서의 KIOST 위상 강화

나. 주요 사업내용

- “염하구의 생태환경적 가치(섬진강 하구를 모델로 평가)와 염하구 훼손의 문제점(한/낙동/금/영산강을 중심으로 평가)을 정성·정량적으로 비교 연구”를 위한 세부내용 기획
- “염하구 복원 시나리오별 경제적 가치 평가” 등을 위한 세부내용 기획
 - * 염하구 주변 및 인근 해역의 환경생태적 가치 개선효과, 호저 퇴적물 준설비용, 대체 공업용수 확보 비용, 농업용수 공급 방안, 하굿둑(수중보) 변형 비용 등
- 거버넌스 및 관련법 제정 등을 위한 세부내용 기획

다. 예산

(단위; 천원)

간접비	내부인건비	직접비	계
0	0	6,000	6,000

라. 향후 추진계획

- 국가사회적 현안 해결위한 연구개발사업화 추진

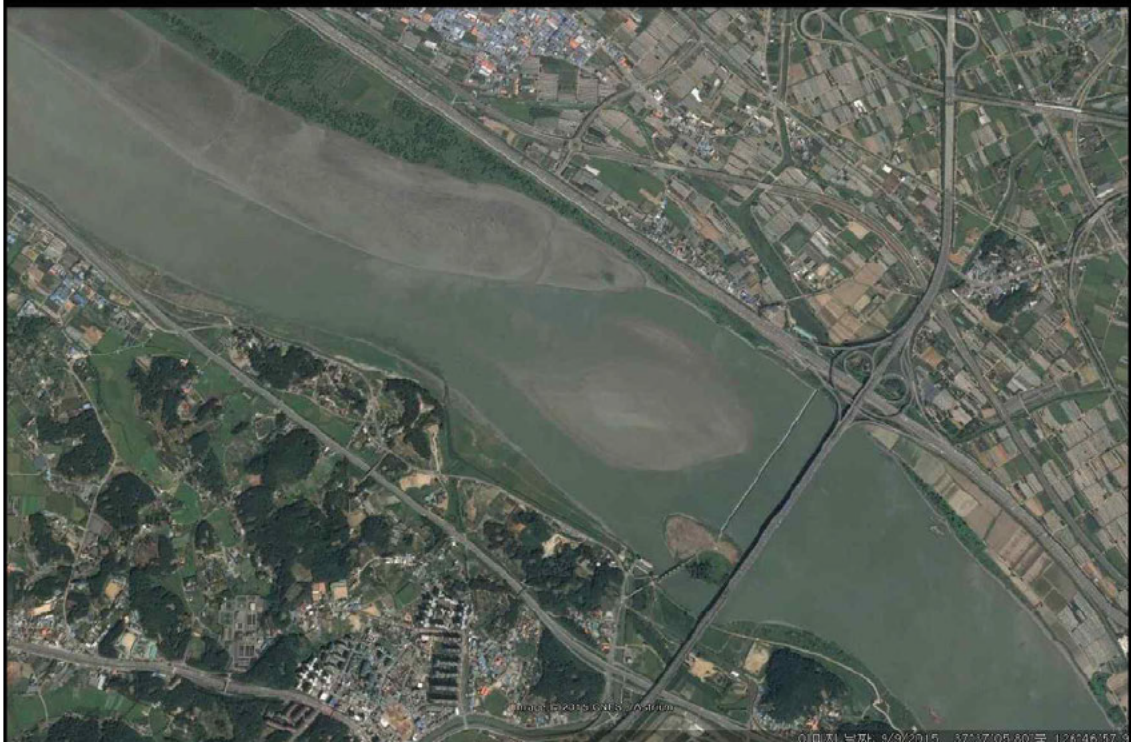
[부록 2] 발표자료

염하구 복원 · 관리 기술개발 기획사업
(Estuary Restoration project : EstuaRE project)

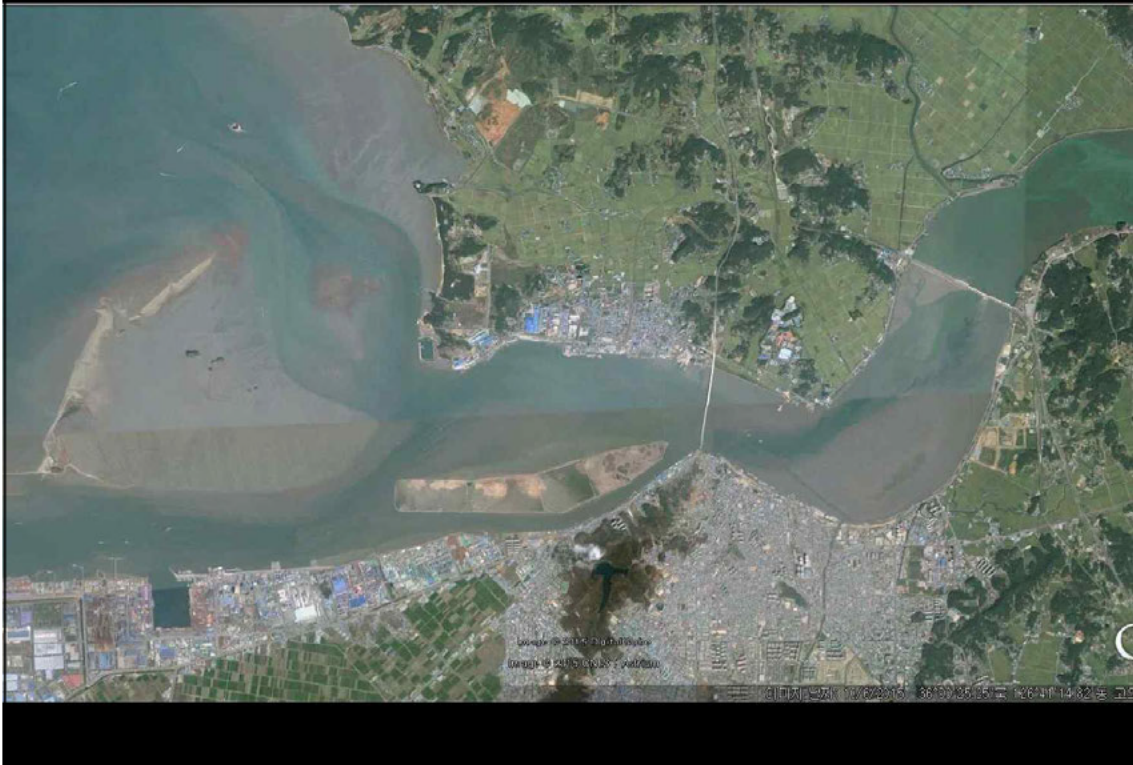
염하구 복원사업
EstuaRE

정회수

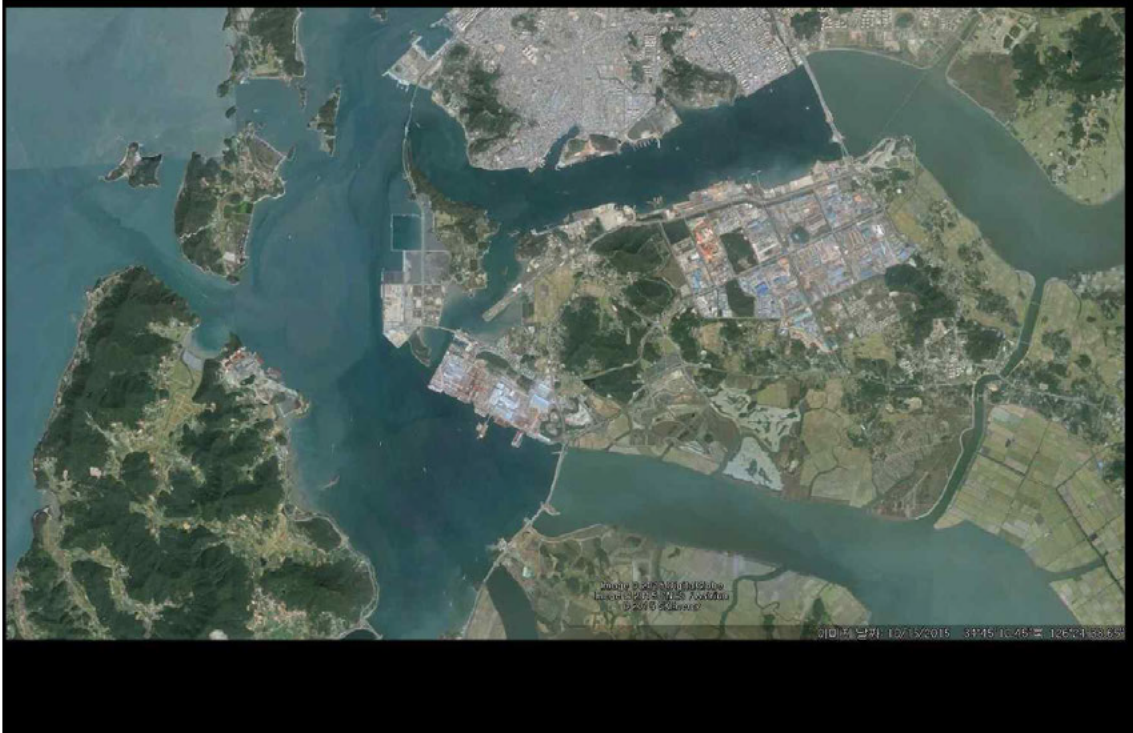
한강

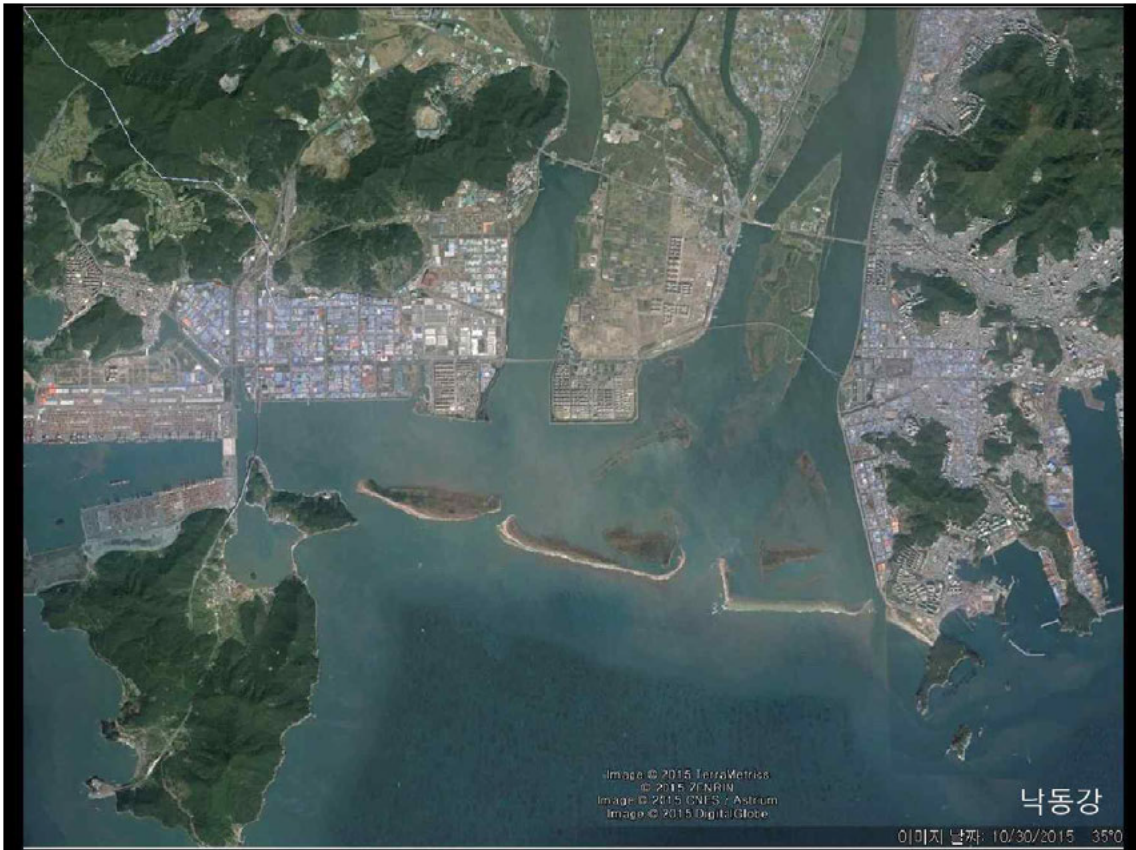


금강



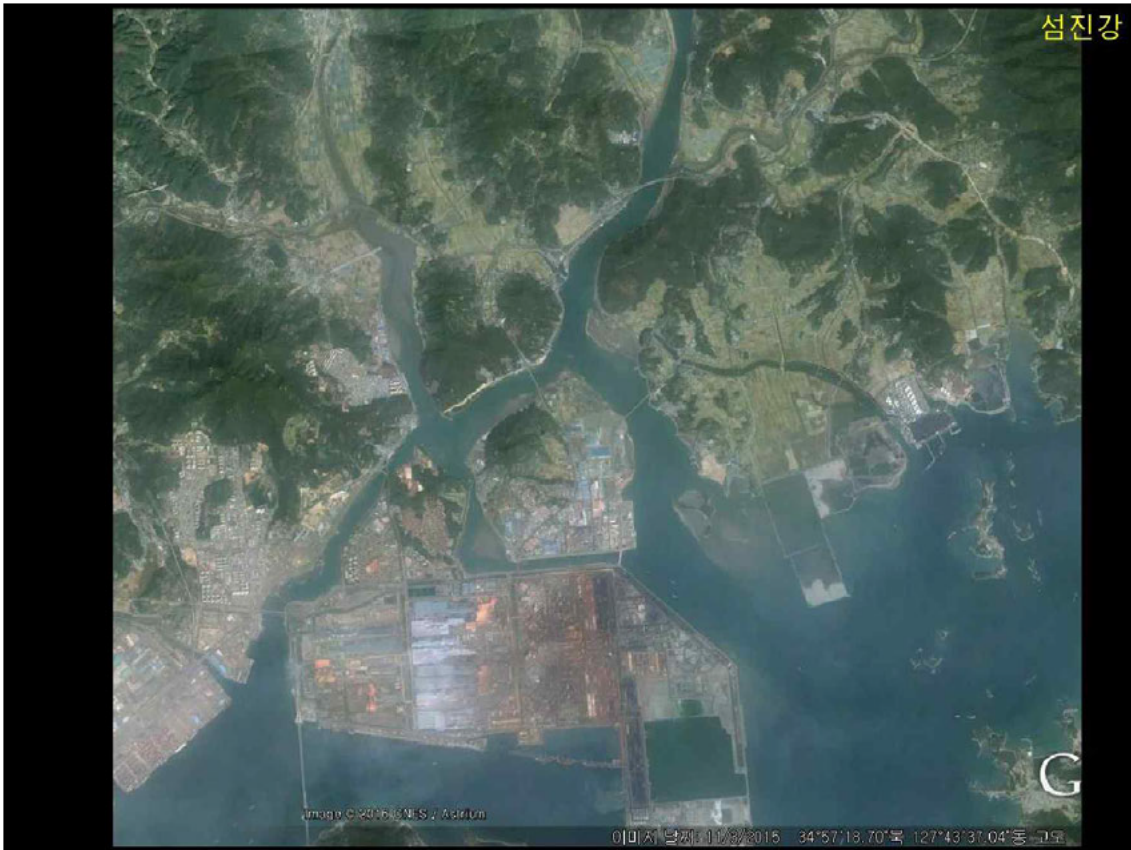
영산강





우리나라 463개 하구 중 약 절반인 228개가 닫힌 하구

- 호소 수저질악화
- 습지 및 서식지 훼손
- 생물 다양성 및 어족자원 감소
- 자연경관 악화
- 하구역 이용 단순화
- 하구 이해당사자 갈등



HOME > OCEAN FACTS > WHAT IS AN ESTUARY?

What is an estuary?

The Estuary—where fresh and saltwater mix.



Estuaries: Where the River Meets the Sea

Get to know estuaries with this two-minute video.

Estuaries and their surrounding wetlands are bodies of water usually found where rivers meet the sea. Estuaries are home to unique plant and animal communities that have adapted to brackish water—a mixture of fresh water draining from the land and salty seawater.

However, there are also several types of entirely freshwater ecosystems that have many similar characteristics to the traditional brackish estuaries. For example, along the Great Lakes, river water with very different chemical and physical characteristics mixes with lake water in coastal wetlands that are affected by tides and storms just like estuaries along the oceanic coasts. These freshwater systems also provide many of the ecosystem services and functions that brackish estuaries do, such as serving as natural filters for runoff and providing nursery grounds for many species of birds, fish, and other animals.

Search Our Facts

Get Social

[Facebook](#)
[Twitter](#)
[LinkedIn](#)
[YouTube](#)
[Instagram](#)

- More Information
- NERRS Estuary Education
 - National Estuarine Research Reserve System
 - Estuaries (audio podcast)
 - Estuaries, NOS Overview

Did you know?

Humans also rely on estuaries for food, recreation, jobs, and coastal protection. Of the 22 largest cities in the world, 22 are located on estuaries!

Contact Us

The screenshot shows the US Army Corps of Engineers website. At the top, there is a header with the Corps logo and the text "US Army Corps of Engineers". Below this is a navigation menu with links for "ABOUT", "BUSINESS WITH US", "MISSIONS", "LOCATIONS", "CAREERS", "MEDIA", "LIBRARY", and "CONTACT". The main content area is titled "Estuary Restoration" and is divided into three columns. The left column contains a "Menu" with links to "Council Meetings", "Estuary Habitat Restoration Council", "Monitoring and Database", "Project Information", "Project Proposal Solicitations", and "Reports to Congress". The middle column is titled "Estuary Restoration Act" and contains detailed text about the Act, including its purpose, funding, and the role of the Estuary Habitat Restoration Council. The right column is titled "Subscribe" and contains information about an email subscription service. At the bottom of the page, there is a black bar with the URL: <http://www.usace.army.mil/Missions/Environmental/EstuaryRestoration>

The screenshot shows the NOAA website page titled "The Estuary Restoration Act & NOAA". The page features the NOAA logo and a search bar. The main content area is divided into several sections. On the left, there is a "Navigation" menu with links to "ERA Information", "Monitoring and Studies", "Project Tracking Database", "Estuary Council", "Estuary Habitat Restoration Strategy", "Restoration Projects", and "Project Funding". The main content area is titled "The Estuary Restoration Act" and contains detailed text about the Act, including its purpose, funding, and the role of the Estuary Habitat Restoration Council. There is also a section for "Member Agencies" which lists the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), the Department of the Interior, U.S. Fish and Wildlife Service (USFWS), the Environmental Protection Agency (EPA), the U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service (NRCS), and the U.S. Army (Army). At the bottom of the page, there is a black bar with the URL: <http://www.era.noaa.gov/information/act.html>

간헐적이고 중요한 금강하구역을 가꾸기 위해

로그인

하구역통합관리시스템
Krestruary Integrated Management System

하구역 소개 금강하구역 정책협의회 열린마당

국내하구역량



● 열린하구 315개
● 단원하구 463개 149%

하구 (하구)



하구도의영도제

개항하구와 연결되어 있는 반월대하구역으로 하산으로부터 흘러 내려오는 민물과 조수주기에 따라 들어오고 나가는 바닷물이 만나 서로 혼합되면서의 가수 (backwaters)를 형성하는 현(하구)

● 열린하구 ● 단원하구

금강하구역 소개

하구역량 정책협의회 공공참여 시스템

정책협의회

금강하구역 정책개선과 운영실태를 유관 정부·도·군·시·읍·면·자치단체와 협의

주요행사



자유게시판

금산항 1년간 회계감 '산'... 2015.08.18

공지사항

제1차 금강하구역에 대해... 2015-10-18
2차년도 전체 연구진 직... 2015-08-13
연안 및 하구생태복원 국... 2015-08-11
금강하구 정책협의회 사... 2015-07-07
해강수질환경기술개발사... 2015-06-18

하구소식

충청 연구기관 일행... 2015-10-07
'낙동강 하구역 개황... 2015-10-07
아생동식물 분포 탐... 2015-10-07
[낙동강]하구역 열변... 2015-09-24
금강하구역 철수유출... 2015-08-21



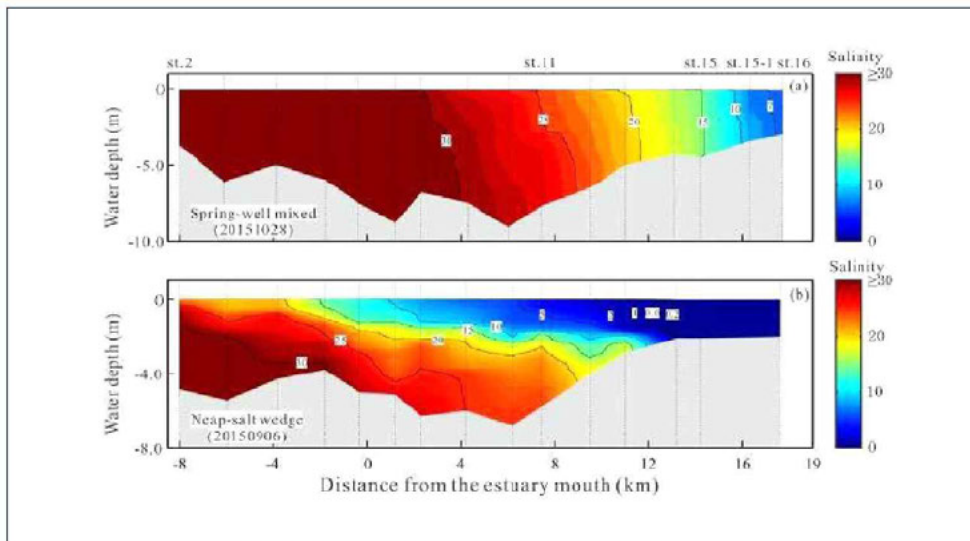

 세종특별자치시 다문화청 정부재정지원사업 후원사업
 Copyright (c) 2015 Ministry of Oceans and Fisheries. All Rights Reserved.

[연락처 현황] 주소: 6 / 전화: 1,984


<http://www.krestruary.or.kr/>

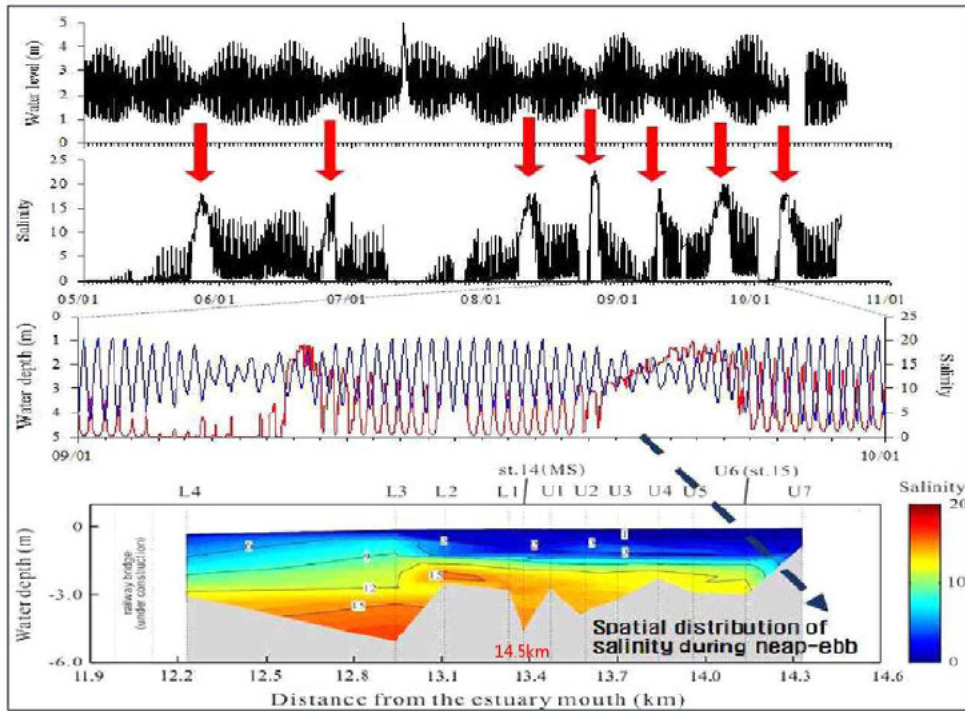
“심진강 염하구” 연구결과를 통해 추정해 보는 우리나라 자연 염하구 모습

- 염분 분포 형태: 대조기 → 강혼합형, 소조기 → 약혼합형(염분썩기형, 15psu 기준 최대 12km 범위로 발달)

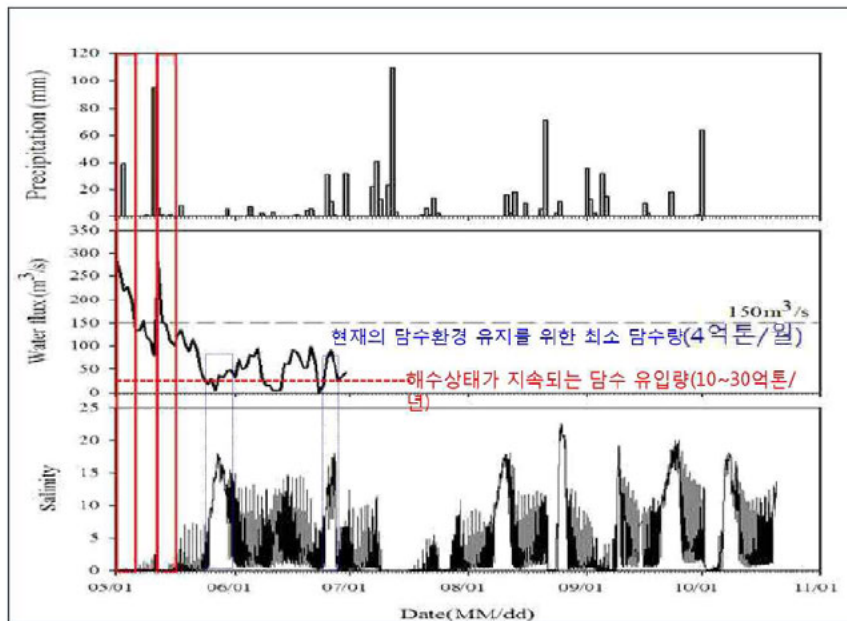


☞ 우리나라 염하구의 염분 썩기는 상당히 강하게 발달한다!!

- 소조기 동안(약 7일) 고염수(15psu)가 저층에 광범위한 영역에 체류 (하구 기점 15.6km 까지 발달)  육지 깊숙히까지 염분 침투, 지형요소 중요(골)

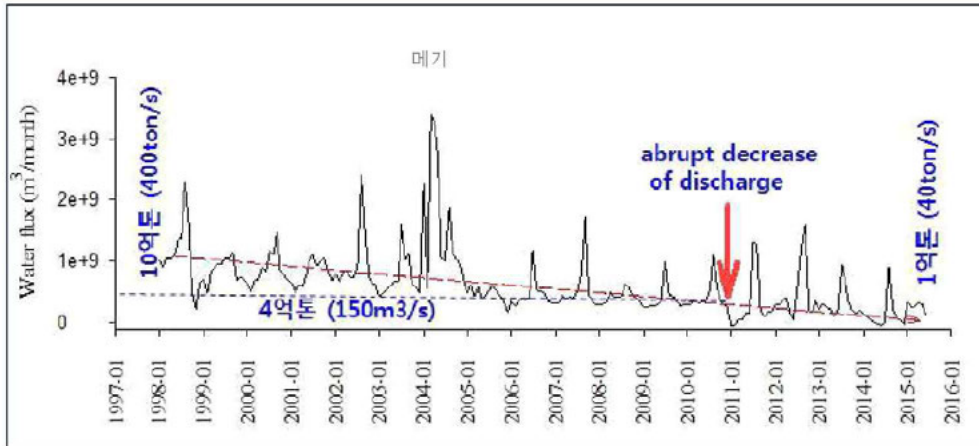


- 조석에 따른 염분 변화 폭: 하구 기점 15km 해역에서
담수량 $150\text{m}^3/\text{s}$ 이상시 0-1psu 범위, $150\text{m}^3/\text{s}$ 이하시 0-20psu 범위



 최소 담수 유입량 산정을 위한 기술로 활용 가능

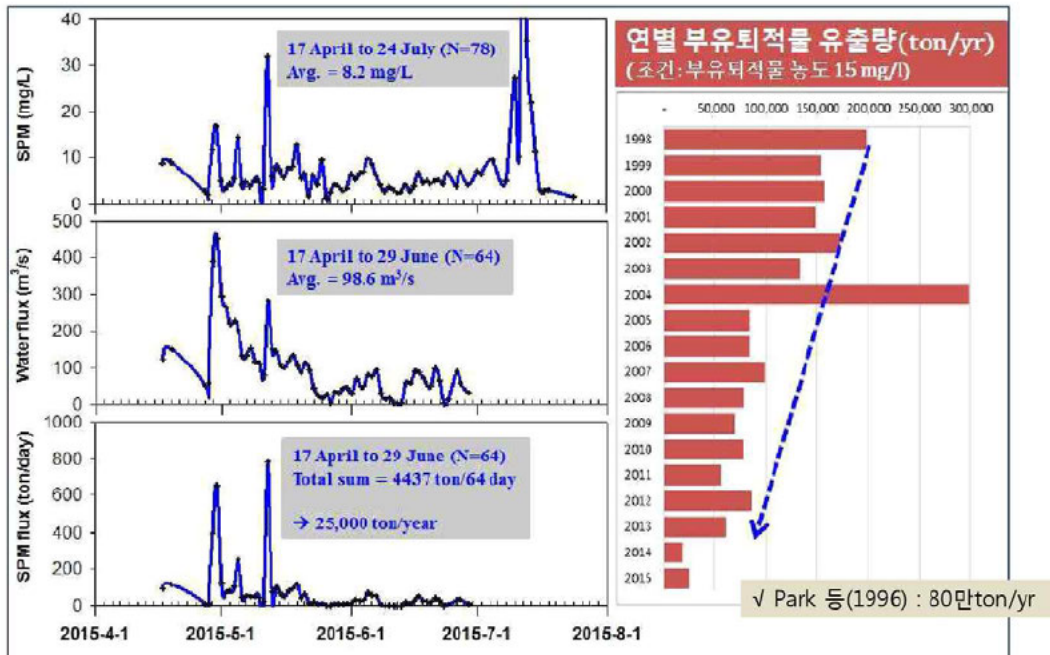
- 과거 담수 유출량 변화: 최근 담수유입량이 급격히 감소 (하구 기점 15km 섬진교 지점)



- 주암댐(저수량: ~4.5억톤) 최소 방류량 : 1.1억톤/년(2015.11. 고시)
- 섬진댐(저수량: ~4.5억톤)
- 다압취수장 : ~1.5억톤/년
- 주암+섬진댐 집수역 면적은 섬진강 집수역 면적의 ~50%
- 갈수기 최소 방류량은 ~12억톤/년(2015년)
- 따라서 성과 3.7의 결과(해수상태가 지속되는 담수 유입량 : 10~30억톤/년)을 고려할 때, 갈수기 최소 방류량 12억톤(2015년)은 섬진교 기준 상시적 해수환경 형성 방어를 위한 마지노선
- 지금보다 갈수기 담수유입량이 감소할 경우, 갈수기시 섬진교 인근은 상시 해수환경으로 변화 예상

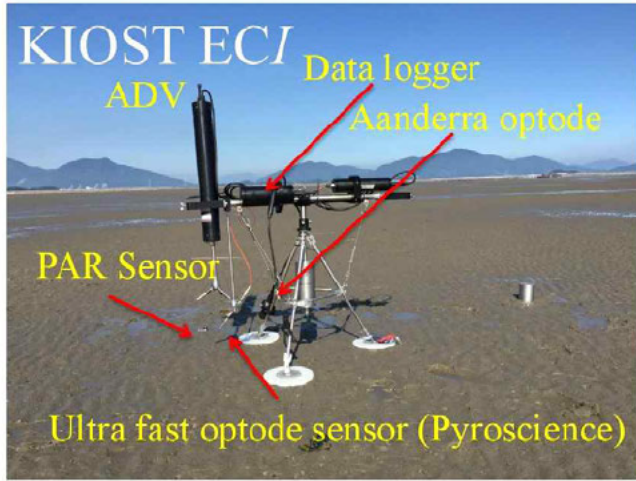
☞ 담수 배분정책, 장기 수자원 정책 수립 등에 활용

- 2015년 및 지난 18년 연간 부유퇴적물 배출량 정량화와 변화 (하구 기점 15km 지점): 20만톤('98) → 2.5만톤('15)으로 지속 감소



☞ 연안역 생태계(적조, 침퇴적 등)의 장기변화 이해의 근거자료

• 섬진강 갈사만 모래 갯벌의 자연정화(유기물 분해) 능력



Depth: < 2.5 m
 Velocity: 0.07 (0.02-0.19) m s⁻¹
 O₂ flux = -87 mmol m⁻² d⁻¹
 Filtration rate = 459 L m⁻² d⁻¹
 -0.8 ± 1.0 g · C/m²/day (this study)
 (참고: 0.93 g C/m²/day (김중구, 2001))
 r_{org} = C_{org} sink

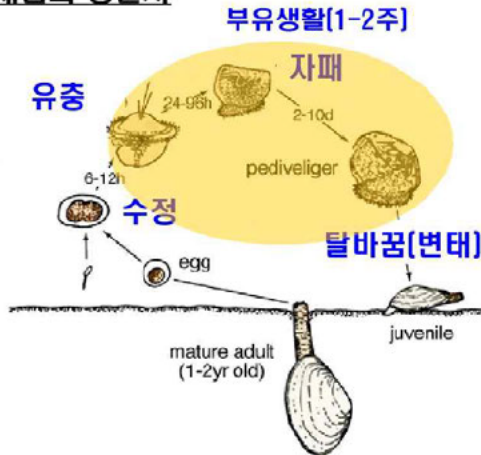
• 유기물 분해능력 : 0.58kg/m²/yr (BOD 처리기준 약 ~3,360원(BOD 처리비용은 5,800원/kg (KDI, 2011) 기준); 쌀 생산량은 2014년 기준 약 0.52kg/m²/yr(975원)
 → 비용기준 유기물분해능력/쌀생산량 = ~3.5

• 갈사만 매립지역(3.17km²)은 1,851톤/년(약 107억 상당)의 유기물 분해, 1.5 × 10⁶ ton d⁻¹의 물 여과 (여수시 하수종말 처리장(운영비: 50억/년) 처리용량은 11만톤/년)

개벌(모래 갯벌)의 경제적 가치 사전 등에 활용

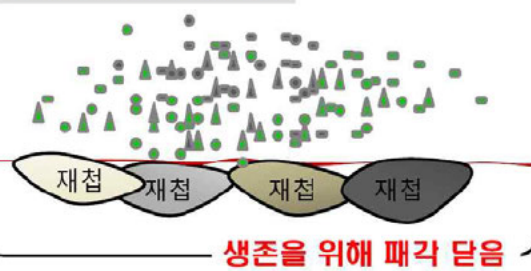
• 자원생물_재첩 연구

재첩의 생활사

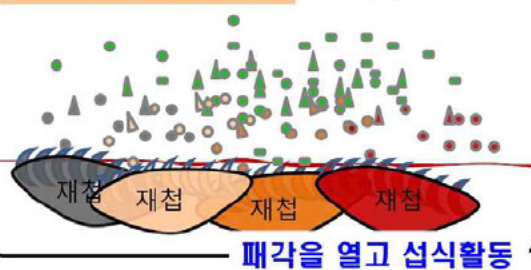


- 섬진강은 재첩의 성장에 영향을 미치는 용존 산소, 먹이원, 영양염 등 충분
- 하구의 염분구배는 재첩의 분포 및 성장에 영향을 미침
- 재첩각목 법적 규제: 현행 15 mm에서 현실적인 10 mm 미만으로 변경할 것 제안

정점11:고염분_>20 psu



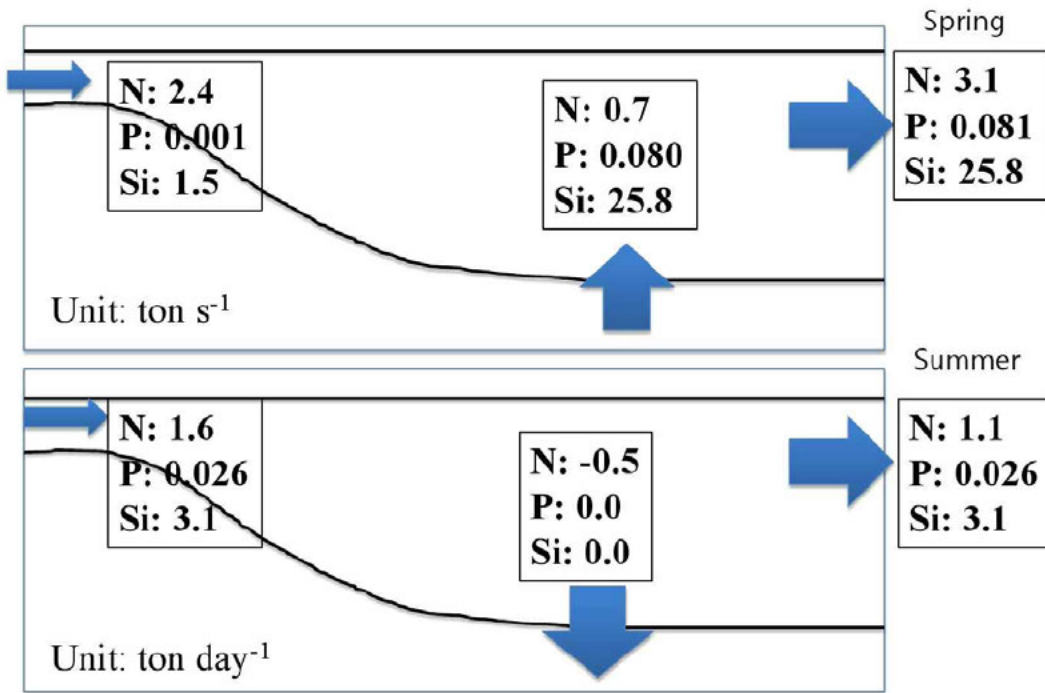
정점13:저염분_<10 psu



염분 스트레스가 작은 정점13에서 먹이섭식이 용이하여 성장이 빠름, 즉 비만도 및 각장 大

염하구에 서식하는 상업 어종의 종류와 생태

- 영양염 총 유출입 플럭스(Estuarine nutrients flux) 와 수산물 수확(harvesting)의 역할 이해



하동·광양·구례시, 황폐화한 섬진강 복원 대형부 공동 논의

2015-11-27 08:29

섬진강 중·상류지역의 유역변경식 및 건설로 인한 하류가 갈수록 황폐화하고 있는 가운데 섬진강 하류 중·상류 3개 시·군이 섬진강 수계 복원을 요구하는 대형부 공동연임을 채택해 관계 기관에 보내기로 했다.

26일 하동군에 따르면 섬진강 하류의 홍양시, 구례군, 하동군 등 3개 시·군은 섬진강 하구 주민 22만 8900여명을 대표해 섬진강 수계복원에 따른 대형부 연임을 채택했다.

강의중에서는 전 세계적인 기후의 영향으로 섬진강도 비익을 드러내면서 홍수가 잦아오던 연이 이어 사려지고 비맛을 유입으로 재량 서식지가 갈수록 줄어들어 생태계와 여업의 피해가 심각한 실정이라고 밝혔다.

특히 섬진강의 저수량이 전국 최저치의 7.6%에 그쳐 댐이 건설된 1965년 이후 수몰된 문인계가 모습을 드러낼 정도인데도 중앙부·지방정부 등 중·상류 양 쪽이 논둑과 여남 일원과 조호로 출려 공업용 및 농업용수로 대부분 사용되면서 하류는 하구가 다르게 죽음의 강으로 변하고 있다고 강조했다.

이런 상황에서 섬진강을 이대로 방치해 두다면 어지않아 강역 기능을 완전히 상실해 하류 주민들은 삶의 터전을 잃을 뿐만 아니라 큰 재앙이 우려되고 있다면서 수계 복원을 위한 6개항의 대책을 촉구했다.

3개 시·군은 먼저 섬진강의 현상을 살펴에 대한 종합적인 조사를 통해 100년 미량을 내다보는 체계적인 여공과 보전, 관리대책을 수립해야 할 것이라고 요구했다.

또한 섬진강의 저수량 및 하구 물 확보 등 섬진강 물 문제 해결을 위해 농어촌공사, 수자원공사, 한국수자원공사에 방제 조부, 지자체, 상류가 되어 표찰을 구축한 연는 뚝을 영려해 구성을 촉구했다.

이외 현재 본류의 유역변경으로 농림·생물·관광용수로 이용하는 중·상류 강과 문명관리하를 통해 본류의 유역변경을 확대하고, 하천 유지양 복원에 따른 생태·환경적 문제 발생에 따른 수위관측소 확충과 다량유출량 저수원 등대계획 논의 등 근본대책을 건의했다.

그리고 대다수 개발과 이음으로 약화된 섬진강의 체계적인 수질 관리를 위한 재공 지원을 확대하고, 댐살과 홍남을 맞고 방갈고 목운을 이어주던 '물 열성'에 부합하는 강역 기능 회복과 종합적인 물질 복원에 따른 정부수도의 체계적인 계획 수립을 요구했다.

3개 시·군은 이 같은 내용을 담은 대형부 연임을 **원한다** **대통령비서실**을 비롯하여 **국립환경연구원** 및 **국토교통연구원**, **국토교통부**와 **환경부**와 **한국수자원공사** 등 관계 기관에 보내기로 했다.



해양수산부 업무계획과의 연관성

2016년 주요 업무 추진계획(해양수산부, 2016년 1월)

V. 주요 업무 추진계획

4. 바다와 연안을 힐링과 웰빙의 공간으로 재창조

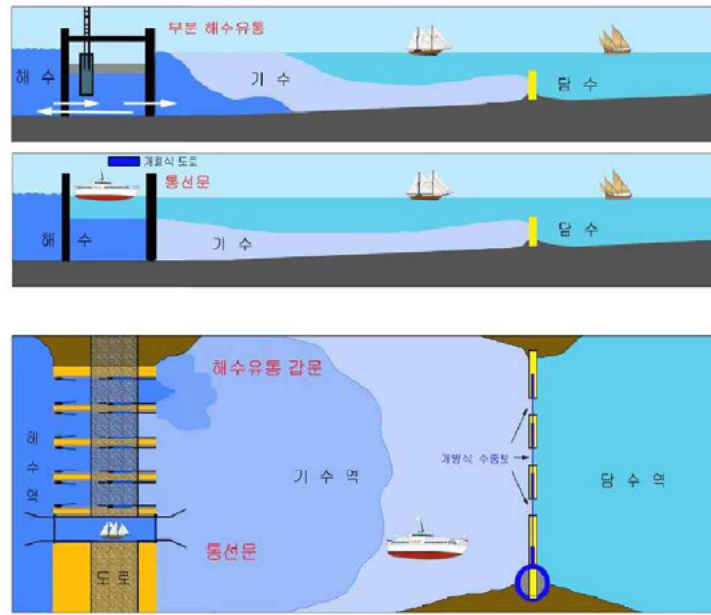
나. 깨끗한 바다와 연안 조성

해양환경에 영향을 주는 하구역과 항·포구 환경 관리 강화

- 하구 환경·생태계에 대한 **관계부처 합동 조사·연구**와 하구 환경 **통합측정망 구축** 등 하구역 **통합관리** 기반을 마련('16.下)

* 「제4차 국가환경종합계획('16~'35)」에 부처간 협업과제로 「하구역 등 기수역 관리체계 구축(환경부·해수부)」이 포함 → 주요 하구역별 '종합관리 시스템 구축방안' 마련('16.下)

• **보호·개선과 복원은 별도의 법(하구관리법/하구복원법?) 개정/제정 필요**
(해수부+환경부 이외 국토교통부(하천법 등) 농식품부(농지법 등), 문체부(문화재보호법) 등도 유관)



<그림 11> 자연생태 보존형 전자제어 수문-수중보 연계시스템

Estuary KIOSK

1. 부영양화/녹조/무산소저질/퇴적준설/Si결핍&편모조류/어류자원 ...
2. 해양수산부/농림부/환경부/수공/농공, 4분5열 연하구 관리 거버넌스, 4대강 ...
3. 인하대/명지대+서울대+KMI vs. KIOST ..., 미국과 유럽은?
4. 하굿둑의 장점 vs. 단점; 경제성 평가; 대안(부분 개통과 생태복원, 구체적 방법은?)
5. 연구 그룹 :
 - ① 현황 팀 : 생태/화학환경적 & 사회/경제/문화적 장단점 연구
 - ② 대안 팀 : 토목공학/모델링 (기본설계까지?)
 - ③ 정책 팀 : 경제성 평가, 전략(부처간 거버넌스와 역할, 법제도 등)
 - ④ 총괄 팀 : 홍보전략, 해수부 환경정책과(국무조정실)? KIOST(KIMST) 기획, 기타

보고서 작성 콘텐츠

Vision : 대안있는 염하구 복원 정책을 만들어보자 !

Part A : 하구 생태환경의 현황과 문제점

1. 하구호수의 부영양화, Si 배출량 감소 및 저층의 빈산소 수괴 형성
2. 저서 및 수서 생태계 변화
3. 수산물 채취량 감소와 유기물 환경 부하량의 증가
4. 퇴적토 침적과 하상 퇴적 증가

Part B : 실현가능한 하구복원 시나리오

1. 배수갑문 증설 및 갑문 조작을 통한 해수 유통 방안
2. 염수빼기 형성을 활용한 저층류 부분개통 방안(수문 변형-조작)
3. 저층수의 일방향 배수를 통한 부분개통 방안(일방향 저층수 배수 장치)
4. 기타 융합 방안

Part C : 하구복원 정책

1. 하구복원 시나리오별 경제성 평가
2. 하구복원 실전을 위한 거버넌스 구성
3. 관련 법 및 제도 정비

* 대안을 가지고 이니셔티브 확보 노력 필요

環境과 開發의 相生

감사합니다

※ 2월 말까지 전문가 회의 추가 개최, 보고서 작성, 해양환경정책과 설명회 추진 등