

해수유통을 통한 습지복원의 경제 및 환경생태적 가치와 해외 사례

전남대학교 지구환경과학부 교수 전 승 수

1. 서론

강은 흘러야 한다. 그러나 금강, 영산강, 낙동강, 만경강, 삼교천, 아산천 등 국내의 대규모 강은 거의 모두 하구둑으로 막혀있어 더 이상 강이 아니며, 강의 기능을 제대로 수행하지 못한다. 우리는 영산강이 하구둑에 막히어 생긴 하구호를 영산호라 부른다. 그런데 여름철에 이 호수에서는 이상한 고약한 냄새가 난다. 영산호에 무슨 일이 있기에 그런 것일까? 전남도청이 자리를 잡은 남악 신도심과 인근의 영암호와 금호호 주변은 전남의 21세기형 지역발전의 모습을 보여줄 수 있는 희망의 신도시를 꿈꾸는 곳, 아니 꿈이 되어야 하는 곳인데... 충남의 소규모 하천은 이미 대부분 수질에 문제가 심각하며, 금강호도 이제 영산호의 전철을 밟을 수밖에 없을 것이다.

우리나라에는 이제 제대로 자연환경을 유지하는 규모가 있는 하구는 한강하구를 제외하면 남아 있지 않은 상태이다. 크건 작건 모든 하구호 주변마다 관광지구가 아닌 곳이 없지만 어느 하나 관광지로 성공한 곳이 없으며, 지어놓은 숙박시설 등의 관광시설이 폐허가 되지 않은 곳도 없다. 하구환경은 지구상에 존재하는 자연환경 중에서 가장 가치가 높은 곳으로 평가되고 있으며, 논외의 경제적 가치와 비교하여 약 250배의 가치가 있는 것으로 알려지고 있다. 뉴욕, 런던, 함부르크, 시드니, 샌프란시스코, 두바이 등 대부분의 국제적으로 유명한 도시들은 모두 자연하구와 인접하여 발전하며 점차 상류와 바다 쪽으로 발전해 나가는 항구도시들이다. 물론 당연히 하구는 막혀 있지 않고 바다로 열려 있는, 막혀있지 않은 하구들이다.

악취의 문제, 수질의 문제는 영산강이 하구둑에 막힌지 20년이 넘었기에 일어나는 현상이다. 이제 전남의 미래가 걸려있는 관광기업도시인 J프로젝트의 성공가능성을 움켜잡고 있는 것도 영산강의 수질문제이다. 하구가 막혀 있으면 바다로 빠져나가 연안환경을 살찌우게 할 유기물들이 하구호에 급격히 퇴적되어 퇴적물에 유기오염을 일으키며, 여름철에는 이들 물질에서 용출되는 인에 의해 다시 녹조현상을 일으키고, 이들은 다시 퇴적물에 축적되어 수질악화는 물론 악취를 발생하여 영원히 돌이킬 수 없는 문제를 야기하게 된다. 연안어장도 강을 통해 공급되어야 할 영양염의 부족으로 피폐화되고, 하구둑 근처의 바다는 퇴적물이 빠르게 퇴적되어 또한 해수의 수질을 악화시켜 안과 밖으로 모두 문제를 일으키는 것이 하구둑이다. 영산강 하구둑보다 먼저 건설된 서낙동강 하구

는 이제 돌이킬 수 없는 곳이 되었으며, 금강 하구둑은 이제 10~15년 이내에 같은 수질 문제에 봉착할 것이 틀림없다. 1981년에 완공된 영산강 하구둑에 비해 1987년에 완공된 낙동강 하구둑은 아직 수질에 대한 큰 문제가 제기되지는 않았지만 어차피 영산강 하구둑의 전철을 밟을 수밖에 없을 것이며, 1990년에 완공된 금강하구둑도 꼭 같은 길을 갈 수밖에 없다. 현명한 사람들이라면 문제가 제기되기 전에 문제를 예측하고 다른 지역의 사례를 거울삼아 앞서나가야만 할 것이다.

하구역의 가치와 특성은 유입되는 담수량, 조석간만의 차, 조수의 유입량, 하천구배, 기후 등에 따라 서로 상이하다. 선진국에 다가 갈수록 하구환경의 가치가 높아지므로 선진국에 진입하고 있는 우리나라에서는 이제 하구기능을 복원하여 하구의 가치를 극대화하는 정책을 수립하여 추진하는 것이 당연하다. 모든 하구의 기능이 상실되어 있는 충남으로서는 이제라도 하구기능을 복원하는 정책을 강력하게 추진해야 선진지방자치도가 될 수 있는 길일 것이다. 여기에서는 선진국의 하구복원에 대해 검토하고 이를 충남의 하구에 어떻게 적용할 수 있나를 개략적으로 판단해 보고자 한다.

2. 하구둑의 문제점

하구둑 건설에 의한 치수정책은 홍수피해, 해일피해, 담수확보를 동시에 해결한다는 점에서 매우 편리하고 간단한 방법이라고 할 수 있다. 하구둑 건설은 이러한 장점들과 함께 부가적으로 주변 하구갯벌의 간척효과를 동시에 얻을 수 있는 방법이기도 전 세계의 많은 나라들이 과거 일반적으로 취해오던 치수·이수정책이라고 할 수 있다. 특히 해일에 의해 심각하게 피해를 가져왔던 네덜란드, 독일, 일본 등에서는 하구둑 건설의 역사가 아주 오래전으로 거슬러 올라가는 것으로 보인다. 그러므로 하구둑의 건설은 인간이 자연과 투쟁의 산물이라고 할 수 있으며, 자연재해에 대한 가장 강력한 방어수단이었음이 분명하다. 자연환경의 가치를, 특히 하구환경이 지니는 특성과 가치에 대해 잘 이해하지 못하였던 시기에는 작은 하구와 염습지가 많이 존재하였으므로 하구환경의 파괴가 가지는 결과에 대해 인식이 부족할 수밖에 없었던 것도 사실이다. 그러나 이제 대부분의 작은 하구가 막히었고, 거의 모든 염습지가 파괴되어 버린 현대에 들어서 세계는 하구환경의 가치에 대해 재삼 인식을 달리하고 있는 상황이다.

대형 하구둑의 건설사업의 대표적인 것으로 1960년대부터 시작된 네덜란드의 델타프로젝트(Delta Project)를 들 수 있다. 우리나라의 대부분 하구둑 건설사업도 네덜란드의 델타프로젝트를 벤치마킹한 것이다. 실제로 델타프로젝트는 1953년 1836명이 희생된 해일에 의해 계획되었다. 델타프로젝트는 지난 1997년 완전개방형 마에스란트 갑문이 완성되어 40년이 지나 일단락이 되었다. 델타프로젝트는 완전폐쇄형 하구둑 건설로 출발하

여 지난 40년간 진화하여 마지막에는 완전개방형 갑문으로 종결을 짓고 과거 건설된 완전폐쇄형 갑문에 대한 반성을 하는 시기로 들어갔다고 할 수 있다. 1987년에 완성한 오스터스켈트 댐을 시작으로 하여 네덜란드의 하구둑 건설정책, 즉 델타프로젝트는 완전히 변화하였지만 이 델타프로젝트를 벤치마킹한 우리나라는 계속 1987년 이전의 델타프로젝트의 정책만을 따르고 있다. 그러면 왜 네덜란드가 그렇게 자랑스럽게 생각하였던 델타프로젝트가 다른 방향으로 진화를 하고 있으며, 왜 네덜란드 사람들은 과거의 델타프로젝트에 대해 후회를 하고 있는지 추적해 보는 것이 바로 하구둑의 문제점이라고 할 수 있다.

하구둑 건설에 의한 문제점은 다음과 같은 항목으로 간결화 시킬 수 있다.

- ☐ 수질악화
- ☐ 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 퇴적물로 지속적인 퇴적물 오염 야기
- ☐ 기수역의 파괴로 생태계 순환의 고리 차단
- ☐ 육상기원의 조립질 퇴적물을 차단하여 연안침식, 해양생물 서식지 및 산란지 파괴 등 연안환경에 장기적인 피해
- ☐ 하구둑 하류측에 세립질 퇴적물의 축적으로 연안수질 악화 및 생태계 오염
- ☐ 하구둑의 오염을 방지할 경우에 수질완화를 위하여 물을 방출할 경우에 장기적으로는 연안생태계의 충격을 주어 연안생태계를 회생시킬 수 없게 되므로, 결국은 하구호를 오염된 상태로 유지하거나 준설을 해야 하고, 이것은 지속적인 준설경비는 물론오니 처리에 의한 또 다른 환경재해를 가져옴.

위와 같은 하구둑의 문제점들은 개별적으로 발생하는 것이 아니라 동시에, 다발적으로 발생하는 것으로 항목별로 설명하는 것이 부적절하다. 그림 1은 이러한 종합적인 하구둑의 문제를 일괄하여 제시하고 있다고 할 수 있다. 그림 2는 하구둑이 운용된 이후에 상류에서 저층의 산소가 급격히 고갈되는 모습을 보여준다. 이러한 산소의 고갈은 하구둑의 상류에서만 발생하는 것이 아니라 하구둑의 하류, 즉 바다쪽에서도 발생한다. 결국, 하구둑의 상류도 하류도 모두 빈산소층이 형성되어 생태계의 교란 또는 파괴를 야기하게

된다. 그림 1에서처럼 산소의 고갈은 결국 다시 생물의 집단폐사와 동시에 유기물의 분해력을 감소시켜 급격한 유기오염을 야기시키고 다시 이 유기오염된 퇴적물이 집적되었다가 영양염의 용출을 야기하여 부유조류의 대번성과 이들의 집적, 또 다시 급격한 유기오염을 발생하여 지속적인 오염의 순환고리를 탄생시키는 것이다. 하류측에서는 바다의 특성상 상류보다 빠른 수질오염이 야기되지는 않으나 지속적인 세립질 퇴적물의 집적과 이들에 의한 수질의 오염이 야기된다.

하구둑의 하류에서는 그림 3에서처럼 조류에 의해 들어오는 바닷물의 이동에 의해 하구둑 전면부에 유기물이 풍부한 세립질 퇴적물의 집적이 야기되며 이들 유기물의 분해를 위한 산소고갈 현상이 발생한다. 그러나 하구둑의 하류에서는 조석의 작용에 의하여 표층산소와 저층산소의 변화양상이 다르게 나타난다. 이러한 저층에 빈산소층의 형성은 생태계의 문제를 야기할 수 있으며 장기적으로 연안환경을 오염시키는 역할을 하게 된다. 금강하구역의 수질/퇴적문제와 군산항의 퇴적물에 대한 문제점도 이와 같은 이유로 발생한다.

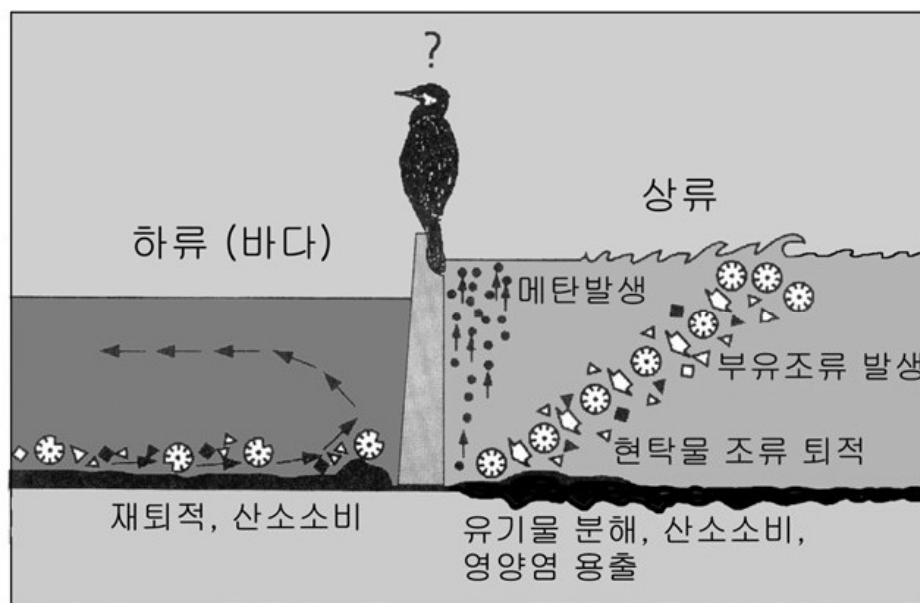


그림 2. 하구둑 주변에서 발생하는 환경변화를 요약해 보여주는 것으로 하구둑 상류에서 발생한 플랑크톤이 강바닥에 퇴적되어 분해될 때 용존산소를 급격히 소비하게 된다. 이때에 산소가 부족한 저층에서는 메탄이 발생하고, 인 등의 영양염이 용출되고 다시 이 영양염에 의해 부영양화가 발생하여 대량의 부유조류가 발생하여 산소의 부족을 초래한다. 하구둑 하류에서도 빠른 세립질 퇴적물이 집적되어 산소부족 현상이 발생된다.

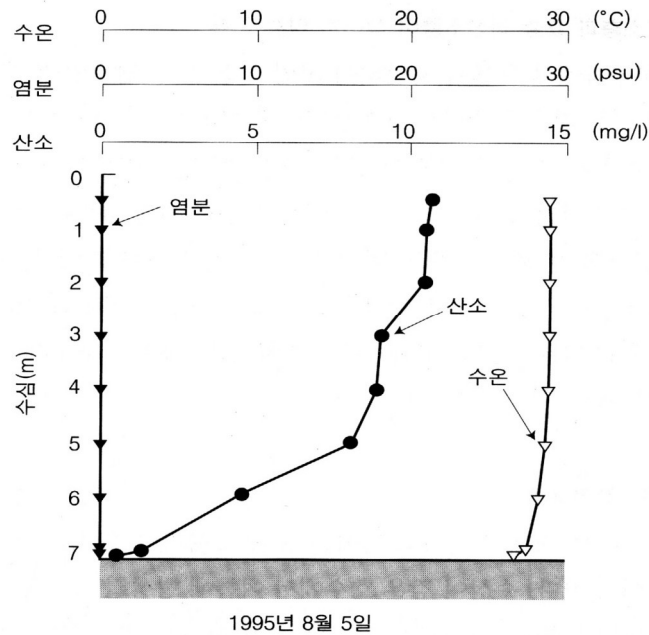


그림 3. 일본 나가라강 하구둑이 운용된 이후에 상류에서의 산소부족 현상이 발생하는 양상 (村上, 1996).

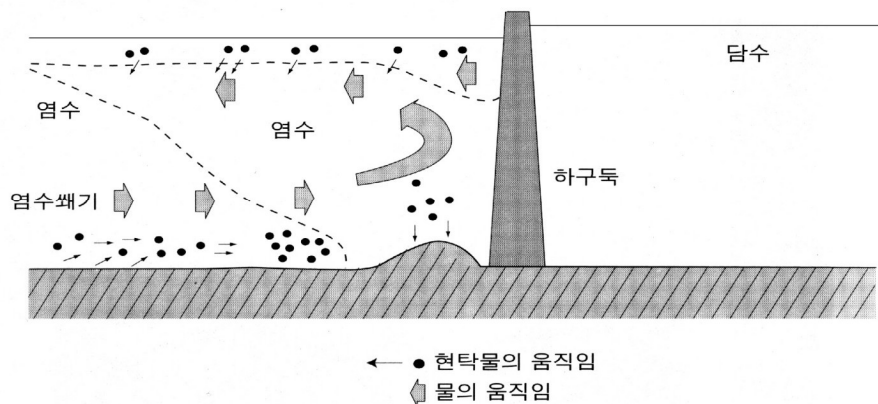


그림 4. 하구둑 하류에서는 상류에서 흘러온 미세입자가 하구둑 하류의 염수와 접촉하여 빠르게 퇴적된다. 이들 저층에 고인 입자는 염수쇄기에 의해 독에 가까운 하류로 운반되어 비교적 좁은 범위에 집중적으로 퇴적되어 해양환경을 피폐화 시킨다.

그림 4는 나가라강의 하구둑에 의한 집수시험 중에 보여진 현상으로 하구둑 상류에서 수문의 폐쇄시에 급격하게 고갈되던 용존산소가 하구둑을 다시 개방하였을 경우에 급격히 다시 증가하는 것을 보여준다. 그러나 어느 경우에도 표층산소는 변화가 없음을 보여주는데 이것은 용존산소의 농도를 조사할 때에, 또한 수질조사를 할 때에 반드시 저층

의 용존산소를 함께 조사하여야 하며, 수질을 판단할 때에 반드시 저층에 대한 자료를 제시하여야 함을 뜻하기도 한다. 이러한 현상은 유역관리를 통한 하구호의 수질문제를 접근할 때에 반드시 저층에서 발생하는 다양한 형태, 즉 생물작용, 물리-화학적 작용, 퇴적물 작용 등을 종합적으로 고려해야만 하며 자료의 축적도 매우 광범위하여야만 한다는 것을 뜻한다. 또한 하구둑은 저질퇴적층 위에 얹혀있는 형태로 건설된 것이다. 즉, 전체의 하구둑이 강의 바닥 암석층에 기초를 하여 건설된 것이 아니라 갑문을 제외한 하구둑의 나머지 부분은 퇴적층 위에 놓여 있으므로 지하층을 통해 해수의 교환이 일어난다. 이러한 해수의 유입이 하구둑 바로 상류에서 수질을 좋게 하며, 염분이 다소 높은 현상을 설명해주는 것이다. 그러므로 하구둑 직상류에서의 수질은 하구호의 수질에 대한 자료로서 적합하지 않으며, 오히려 해수를 유통하였을 경우에 수질이 좋아질 수 있음을 보여주는 증거라고 할 수 있다. 또한 담수가 충분히 공급되지 못하는 영암호, 금호호, 화성호 등에서는 이러한 하구둑 하부지층을 통한 자연적인 해수유통에 의해 완전한 담수화를 이루기 어렵게 될 수 있다.

3. 금강호의 수질

국토해양부가 2011년 12월 발표한 금강호의 수질자료(그림 5)는 낙동호와 영산호와 함께 모두 매우 심각한 상태이며, 지난 10년간 계속 수질이 악화되고 있음을 보여주고 있다. 금강호의 COD는 4~5급수를 유지하며 점차 나빠지는 경향을 보여주고 있으며, 부유물질과 T-N은 6급수, T-P는 4~5급수를 보이고 있다. 이와 같은 수질은 관광이나 친환경농업은 물론 정상적인 농업용수로도 적합하지 않는 상태를 유지하고 있으므로 대책 마련이 시급한 상황으로 판단된다. 전라북도에서는 금강호의 물을 새만금 희석수로 사용할 계획이지만 이와 같은 금강호의 4~5급 담수를 이용하여 새만금호의 수질을 농업용수인 4급수로 유지할 수는 없을 것이며, 새만금 산업단지에 공업용수를 공급할 계획은 물론 새만금을 대규모 관광단지로 활용하고자 하는 전북의 계획은 물건너 간 것으로 판단하는 것이 옳을 것이다.

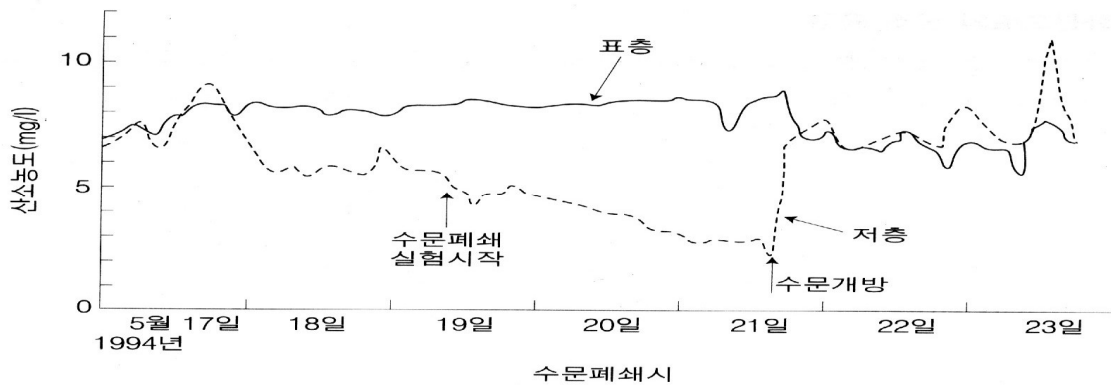


그림 5. 일본 나가라강 하구둑에 의해 시험집수지의 상류에서의 저층용존산소의 감소 양상 (石橋, 1995). 수문이 폐쇄되면서 급격히 저층 용존산소량이 떨어지나 수문을 개방할 경우에는 저층 용존산소량이 급격히 상승함을 알 수 있다. 그러나 어느 경우에도 표층 용존산소량의 변화는 거의 없다.

농업용수로도 사용할 수 없는 금강호의 수질, 새만금 회석수로도 사용할 수 없는 금강호의 수질개선을 위해서는 특단의 개혁적인 대책이 필요하다. 전라북도도 이미 회석수로 사용할 수 없는 금강호를 바라보면서 새만금 계획에 대해 전면적으로 다시 검토할 필요가 있다. 실제로 이와 같은 하구호의 수질문제는 우리만의 문제가 아니다. 우리나라가 하구호 건설을 위해 벤치마킹하였던 네덜란드의 모든 하구호도 건설된 후 30년이 지나면서 심각한 수질문제에 직면하였으며, 이를 해결하기 위한 민관의 오랜 논의, 연구와 수치모델링을 통해 유일한 방법으로 부분해수유통으로 그 해결점을 찾고 있다.

4. 해수유통의 사례

1) 국외 사례

■ 네덜란드 휘어스호

네덜란드 휘어스호는 해일방지, 담수확보와 함께 휴양 및 관광 목적으로 1962년에 네덜란드의 최남단의 하구를 막아서 건설한 약 1억 1천만톤의 용량을 가지고 있는 담수호이다(그림 6). 그러나 휘어스호의 수질이 점차 나빠지면서 지역민들의 심한 논쟁의 대상이 되었다. 논쟁의 결과 우선 내측의 잔트크리크담에 5.5x3m 터널 2개를 건설하고 수질변화와 생태계 모니터링을 수행하는 것이었다(그림 7). 2004년 5월부터 3개월에 걸쳐 1차 모니터링 결과와 2년간에 걸친 모니터링의 결과 휘어스호는 완전히 수질이 개선되었다. 이는 예측모델에서 얻어진 결과보다 매우 빠른 것으로 네덜란드 Zeeland 주정부가

매우 만족할만한 결과를 얻게 되었다. 이러한 성공은 중앙정부에서 불케락호와 하링블리에트호의 수질개선을 위해서 해수유통하도록 하는 계기가 되었으며 전체 델타프로젝트에 의해 건설된 하구둑에 대한 방향을 수정하도록 하는 계기가 되었다.

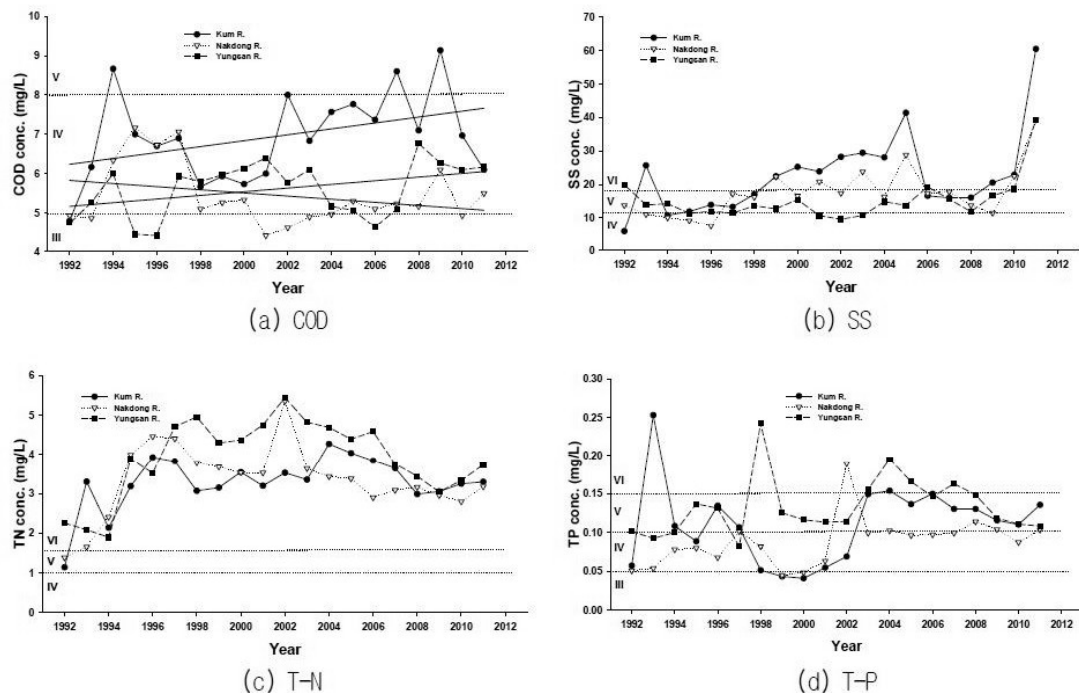


그림 6. 금강호의 수질변화

■ 네덜란드 오스터스켈트 댐

그림 8은 네덜란드의 오스터스켈트댐으로 1976년 착공시에는 전체 하구를 다 막는 것으로 설계되었다가 하구생태계의 중요성이 부각되고, 지역주민의 요구에 의해 수문을 항상 모두 열어놓도록 설계가 변경되었다. 결과적으로 최초의 계획보다 예산을 3배 들여 1987년에 완공하였다. 중간에 설계를 변경하여 완성 후의 경관은 별로 좋지 못한 것 같다. 이 댐의 모든 수문은 모두 365일 24시간 개방되어 있으며 해일예보시와 점검을 위해서 닫는다. 내부로 선박을 통행시키기 위한 통선문은 별도로 설치되어 있다.



그림 7. 네덜란드의 휘어스호의 위치. 번호는 네덜란드의 델타프로젝트에 의해 건설된 갑문들의 건설순서를 표시한다. 큰 화살표는 휘어스호의 성공에 의해 최근 해수유통을 통해서 수질을 개선하기로 결정한 불케락과 하링블리에트 하구호의 위치를 표시함.



Figuur 1-1. Doorsnede van de 'Katse Heule'

그림 8. 네덜란드 휘어스호의 잔트크리크담에 설치한 해수유통을 위한 터널로서 5.5x3m 크기로 여름철에는 40톤/초, 겨울철에는 23톤/초의 물을 유통시킨다. 잔트크리크호의 규모는 1억 1천만톤으로 영산호나 금호호의 규모에 비해 작다.



그림 9. 네덜란드 오스터스켈트 댐. 댐의 수문은 년 중 열려 있으며 해일이 예보될 경우와 1달에 한번 점검을 위해 닫힘.

■ 네덜란드 마에스라트 배리어

마에스라트 케링(배리어)은 네덜란드가 가장 자랑하는 하구갑문으로서 1997년에 완공되었다. 오스터스켈트댐의 실패를 거울 삼아 설계된 것으로 평상시에는 항상 접혀져 있는 부채모양의 구조물로 이루어진 댐이다(그림 9). 이 댐의 철구조물 1개의 크기는 파리의 에펠탑보다 길며 평상시에는 항상 열려 있어 하구로 선박들이 드나드는데 어려움이 없도록 설계되었다. 북해의 강한 폭풍과 만조가 맞아떨어져 해일의 우려가 있을 때나 1달에 1회 점검을 위해 닫는 경우를 제외하고 항상 열려있는 수문구조를 가지고 있다.

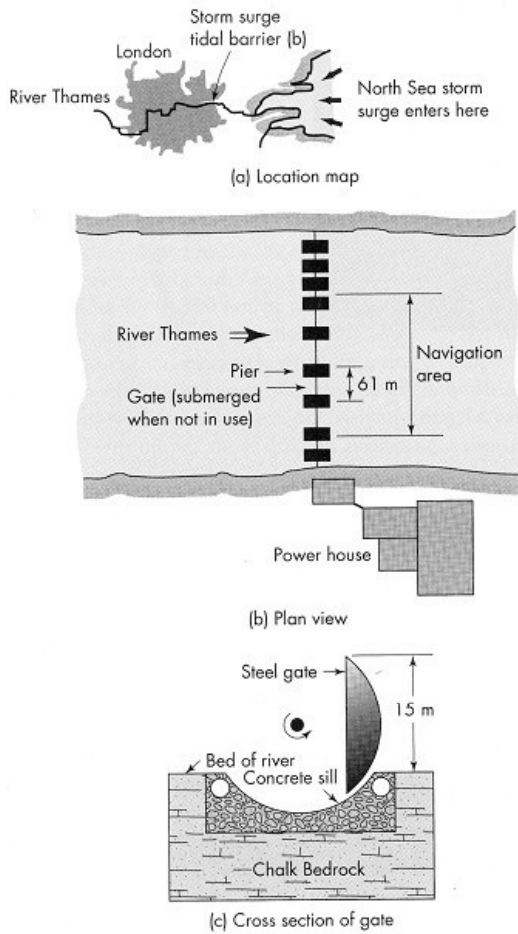
■ 영국 런던 하구의 테임즈 배리어

네덜란드 기술자들에 의해 설계되어 1984년에 완성된 테임즈 강의 배리어는 백중사리와 폭풍이 만나 해일을 일으킬 우려가 있을 때에만 닫을 수 있도록 설계되어 있어 년 중 항상 열려있으며 작은 배들이 쉽게 런던까지 닿을 수 있다(그림 10). 이것은 하구의 다양한 기능을 유지하기 위해서는 하구는 항상 열려있어야 한다는 철학을 실친한 것이다. 갑문의 형태도 반구의 형태를 가져 열려있는 상태에서는 강의 바닥에 붙어버려 강바

닥의 퇴적물 이동을 방해하지 않도록 설계되어 있다. 현재 이 배리어는 영화에도 자주 등장하며, 런던의 주요한 관광상품이 되어 있다.



그림 10. 1997년에 완성된 네덜란드 마에스란트케링의 모습. 부채모양의 움직이는 댐이 평시에는 해안에 붙어있다가 해일경보시에 닫히도록 설계되어 있다.



테임즈강 하구의 홍수방지용 갑문

그림 11. 테임즈 배리어의 사진 및 개념도.

■ 독일의 홀머질

독일의 홀머질은 방조제에 설치된 수문으로 해수용과 담수용의 두 개로 되어 있다. 해수용 수문은 항상 열려있어 해수가 방조제 내로 유입될 수 있도록 하고 담수용 수문은 홍수통제를 위해 조절되도록 되어 있다. 담수구역과 해수구역의 경계에는 낮은 독을 두어 담수량이 많았을 경우에 해수구역으로 자연적으로 넘어갈 수 있도록 하고 있으며, 갑문을 통한 해수수위를 조절하여 담수구역을 담수로 유지하고 있다. 또한 내부에 작은 독을 두어서 해수와 담수가 섞일 수 있도록 하여 기수생태계의 연결고리를 절단하지 않도록 배려했다(그림 11). 그 결과 다양한 생태계를 보여 생물생태계를 매우 건강하게 유지하도록 설계되었다.



그림 12. 독일의 홀머질 수문과 경계방수제에 의한 기능적 생태계 복원과 주변에 복원한 염습지.

■ 미국의 하구복원

미국에서도 많은 하구복원 프로젝트가 진행되고 있다(표 1). 그 중에 대표적인 것으로 캘리포니아 주의 불사치가 하구습지 복원을 들 수 있다. 불사치가 하구복원은 기존의 하구둑에 설치되어 있는 갑문을 개방하여 내측에 염습지를 점진적으로 복원하는 계획이다(그림 12).

표 1. 미국이 현재 추진하고 있는 하구복원 프로젝트

미국의 법률에 의한 하구복원 프로젝트 (2010년 현재) -by Estuary Restoration Act (ERA)

1. McDaniel Slough Tidal Restoration Expansion (NOAA)
2. Damde Meadows Tidal Restoration - Phase II (NOAA)
3. Molokai Fishpond and Fringing Reef Restoration Project (NOAA)
4. Port Susan Bay Estuary Restoration Project (NOAA)
5. Restoring Coastal Estuarine Habitat in Three North Carolina Estuaries (Corps)
6. Jupiter Ridge Shoreline Restoration Project (Corps)
7. McAllis Point Estuarine Habitat Restoration (Active)
8. Kent Island Restoration at Bolinas Lagoon (Active)
9. Secret Harbor Estuary and Salt Marsh Restoration (Active)
10. Thunder Bay Reef Habitat Restoration (Active)
11. West Goleta Slough Restoration Project (Active)
12. Deadman's Island Restoration Project (Active)
13. City of Long Beach's Colorado Lagoon (Active)
14. Indian River Lagoon (Active)
15. Banana River Estuary Restoration Project (Active)
16. Stewart's Creek (Active)
17. Old Place Creek Berm Removal Project (Active)
18. Half Moon Reef Restoration Project (Active)
19. Alligator Creek Addition Restoration Project (2010년 현재 완료)
20. Restoration of Submerged Aquatic Vegetation (2010년 현재 완료)
21. Fort Sheridan Coastal Habitat Restoration Project (2010년 현재 완료)



미국 캘리포니아

볼사치카 하구습지 복원

Bolsa Chica Wetland Restoration Project Description Map

단계적인 해수유통
으로 기수역 확보/
하구습지 복원

-점진적인 하구습지
확대 계획

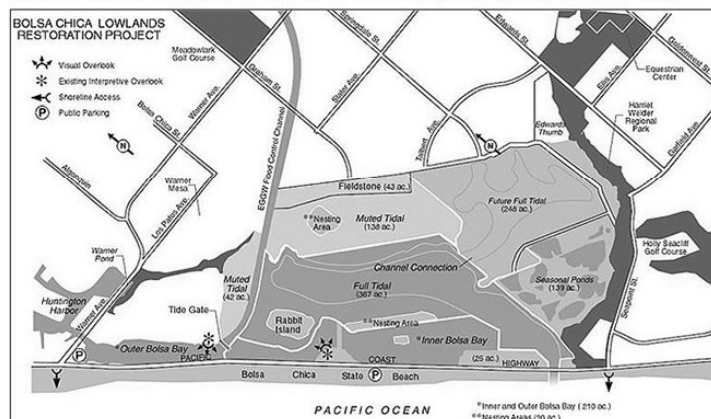


그림 14. 미국 캘리포니아 볼사치카 하구습지 복원 계획

2) 국내 사례

■ 시화호

1999년 1월 21일 시화호의 수질개선을 위해 해수를 상시 유통하도록 결정이 된 이후에 중앙정부의 관련부서는 모두 해수를 상시 유통시키는 것에 대하여 동의하여 현재까지 해수를 수문조절에 의해 유통시키고 있다(표 2). 약 3년이 지난 후부터 시화호 1/3에 해당하는 해역의 수질이 거의 회복되었으며, 최근에는 일부 저층퇴적물에서도 생태계의 기능이 살아나고 있음이 보고되고 있다. 최근 보다 많은 해수를 유통시키고, 시화호의 활용성도 높이기 위해 조력발전소를 건설하여 2012년 1월부터 상업가동에 들어갔다. 방조제를 건설 후 시화호의 수질을 개선하기 위하여 8,000억 이상을 투입하였지만 수질이 개선되지 않았으나 해수를 유통시킨 후에 3년 정도의 기간이 지난 후에 저층퇴적물의 일부도 살아난다는 사실은 해수의 엄청난 기능, 즉 해양 생물과 미생물의 생태계에서의 기능을 증명해주는 결정적인 증거자료가 되었다.

■ 화성호

화성호는 2002년 방조제의 체절을 완료하였으나 수질문제가 우려되어 현재까지 담수호로 완벽하게 전환되지 못하고 있다(표 2). 해수유통에 의해 수질이 유지되고 있으며, 해수에 의한 수질예측치보다 더 좋은 효과를 보여주고 있음을 알 수 있다.

표 2. 시화호와 화성호의 해수유통의 특성 및 효과

<ul style="list-style-type: none"> ● 시화호 <ul style="list-style-type: none"> - 1997년부터 해수유통('98년 이후 연평균 5,440백만톤) - COD 농도 변화 : '97년 17.4mg/ℓ → '06년 2.6mg/ℓ [상류지역 6.0mg/ℓ] - 저층의 용존산소 증가, 엽록소a 농도 저감 - 식물성 플랑크톤은 기수성 또는 해양종 우점 - 해수유통량 증대를 위해 조력발전소 건설 ● 화성호 <ul style="list-style-type: none"> - 2002년 방조제 체절완료, 2012년 담수호로 계획이 되었으나 현재까지 해수유통중 - 해수유통량 : '05년 342백만톤, '06년 204백만톤 - 수질개선 효과 <ul style="list-style-type: none"> • COD : 예측치 4.1mg/ℓ , 실측치 4.1mg/ℓ • T-N : 예측치 1.087mg/ℓ , 실측치 0.645mg/ℓ • T-P : 예측치 0.095mg/ℓ , 실측치 0.050mg/ℓ
--

5. 하구생태계 복원 체계

1) 하구환경의 복원을 위한 분류 및 전략

- 복원 및 관리계획에 앞서 하구에 대한 분류작업이 필요함

① 분류 기준 필요:

예) 에너지와 퇴적물 공급에 따르는 분류: 그림 14 (Boyd et al., 1992)

서해: 조석우세 하구/개방형 갯벌하구/조석해빈형 하구

남해: 조석우세 하구/조석 해빈

동해: 파랑우세 하구/석호

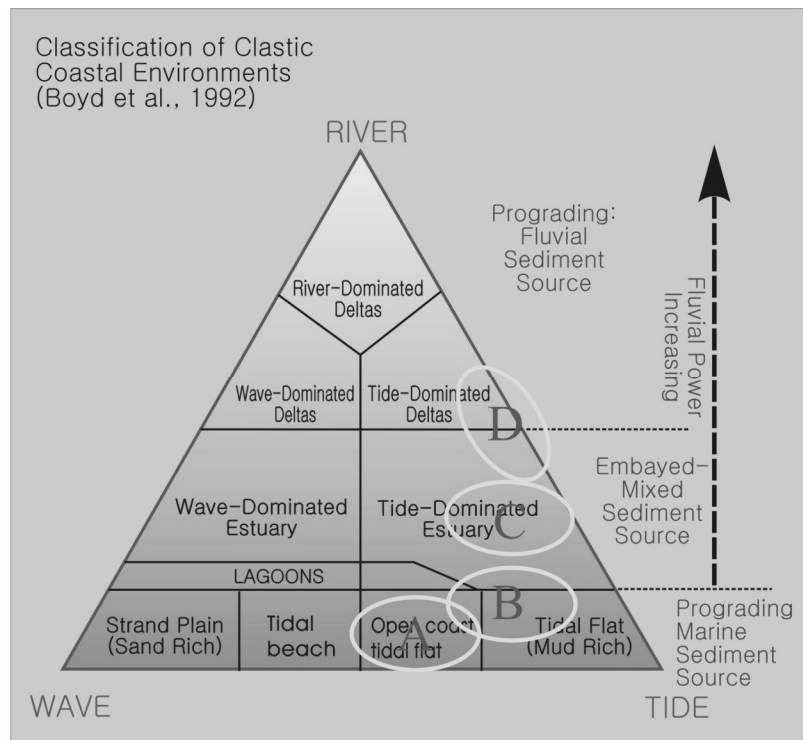


그림 14. 연안환경의 분류 다이어그램.

② 지형특성에 의한 분류

- 개방형 해안에 발달한 소규모 하구: 방조제에 의해 변형된 하구
- 썰기형 하구: 대규모 하구나 암반지형을 갖는 소규모 하구
- 석호형 하구: 사취에 의해 변형된 하구

③ 규모에 따른 분류: 담수 배출량/ 에너지

- 담수배출량: 삼각주형 하구- 조석우세/파랑우세
- 에너지/담수량: 성층형, 완전혼합형, 부분혼합형

2) 하구의 복원-관리 전략 수립

■ 목표

- ① 하구서식지/환경 복원
- ② 생태 및 토사통로 복원
- ③ 하구경관 개선 및 친수공간 조성
- ④ 하구 분류에 따른 차별적 계획 수립
- ⑤ 지역주민 소득 증대 및 지역발전의 한 축이 되어야 함

■ 기본 철학

- ① 하구환경의 자연생태로의 복원 및 자연복원기능의 극대화
 - 전반적으로 공학적 방법에 의한 복원이 아니라 공학적으로는 자연복원이 될 수 있는 기본적 환경조성만 조성하여준 후에 자연적인 기능에 의해 하구자연환경이 복원될 수 있는 방향 추진
- ② 하구유입 물질의 원활한 소통과 하구생물의 자유로운 이동 가능

■ 원래의 하구특성 파악후 계획 수립

- ① 대부분의 하구는 변형이 되었으므로 원래의 지형, 퇴적물 수지, 에너지 특성을 파악하여 원래의 자연환경에 맞는 계획수립 필요
- ② 하구별 장기적 진화방향을 파악하여 지구기후변화에 대비한 하구 복원 및 관리 계획 수립 필요
- ③ 복원계획 중 도입이 필요한 환경인자는 국외를 포함하는 다른 하구의 특성에 대한 연구를 통해 신중하게 받아들여야 함

3) 하구의 지속가능한 발전 방안

■ 대규모 하구에 대한 개선 방안

- ① 목표
 - o. 자유로운 생태계 및 토사 통로 확보
 - o. 하구서식지 및 경관 회복
 - o. 홍수/해일 등 재해 방지
 - o. 담수 확보
- ② 최적 방안 모색
 - o. 기존의 하구둑에 대한 최소한의 변형
 - o. 가능한 최대의 다양한 생태계 복원
 - o. 최대한 자연에 가까운 복원 및 관리 계획 수립
- ③ 예시안 (그림 15)
 - o. 기존 하구둑의 수문을 개방형으로 변형

- 자유개방형과 조절용 수문을 목적과 기능에 맞게 배치
 - 담수확보량/조수/육수압 등을 고려한 크기/갯수비 설정 필요
 - 소규모 뱃길 조성 가능으로 관광기능 확대
 - 자연적으로 항구기능 회복
- o. 기수역 구간 설정
- 담수확보량과 생태계 회복 효과 고려
- o. 가변식 수중보 설치 (필요한 경우에만 적용)
- 담수 확보
 - 상류 배출 오염물 제거 기능
- o. 기수역 구간 농지의 일부를 습지구간으로 복원 (그림 11 참조)
- 홍수시 저류지 기능
 - 먹이원, 종다양성 유지, 어류 및 조류 산란지 및 서식지
 - 관광기능 확대로 지역주민 소득 확대 가능

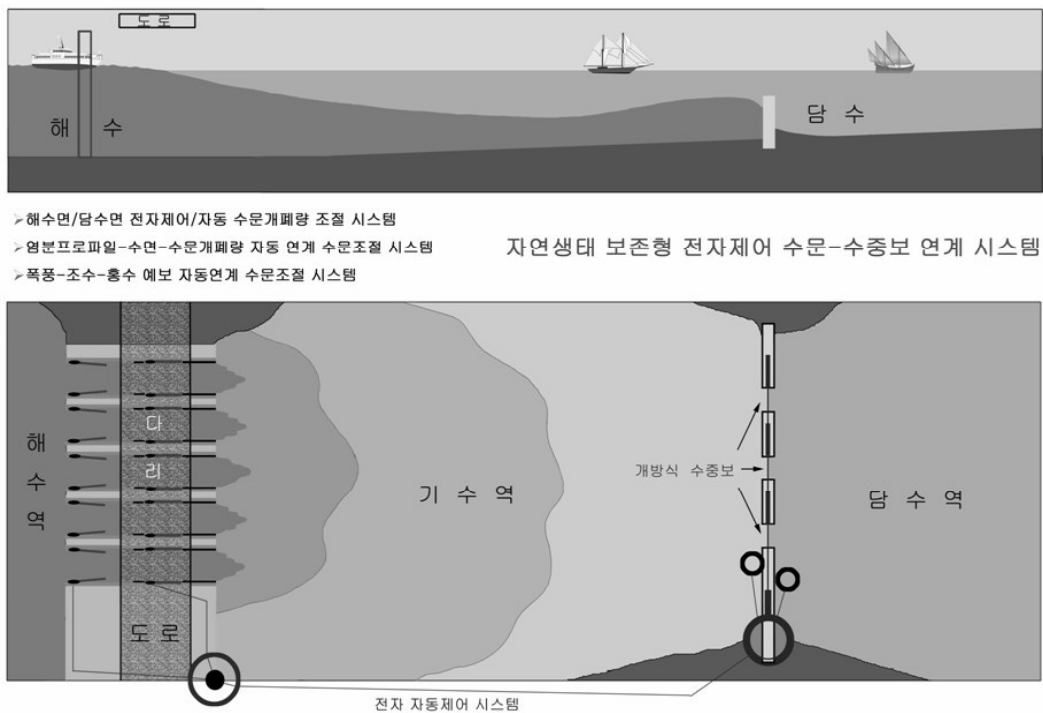


그림 15. 개방형 다기능 하구둑 모형(안).

■ 소규모 하구에 대한 개선 방안

① 적절한 담수량 확보가 가능한 소규모 하구

- o. 자유 수압식 개방형 수문 설치 (그림 16)
- o. 작은 구조변형 사업으로 소형 어항 확보 용이 (그림 17)

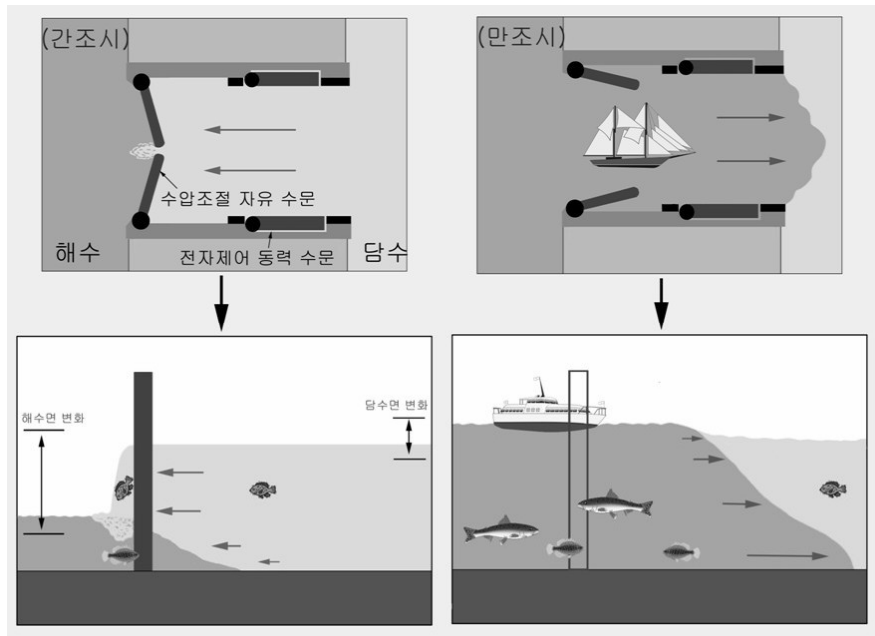


그림 16. 수압식 자유 개방형 수문의 모습.



그림 17. 덴마크의 소형 하구 어항. 조차를 이용하여 수압형 자유개폐형 수문이 설치되어 있음.

② 적절한 담수량 확보가 불가능한 소규모 하구

- o. 조석에 따른 동력수문 설치 (그림 18)
- o. 일정 구간에 걸쳐 주변 농지를 매입하여 변형 (그림 19, 21)
- o. 담수량 확보 및 기수구간 조성을 위해 수로 설치 (그림 20)



그림 18. 동력수문에 다리를 설치한 모습



그림 19. 인공 방조제로 수로를 설치하고 내부에 기수역과 어항을 두었음. 독일의 라이부흐트만과 그릇질 항구.



그림 20. 라이부후트 지역의 내부수로



그림 21. 독일의 관광지로 유명한 그릿질 항구(어항)

③ 사업의 효과

- o. 하구어항의 현대화: 효율성, 기능 및 심미적 가치 확대 (그림 22)
- o. 소규모 하구를 이용한 서해안 갯벌항구 개발 전략의 하나임
 - 서남해안의 빈약한 갯벌어항의 혁신적 개선 방안
 - 소규모 갯벌어항의 관광가치 극대화 방안
 - 정부의 실질적이고 가시적인 효과로 홍보 가능
- o. 하구환경 및 하구갯벌의 자연적 회복 전략과 연계됨
 - 하구갯벌 및 하구 염습지 조성기술 확보 요구됨
 - 하구특성을 이용한 하구 수산자원 회복 및 확대 가능
 - : 황복, 민물장어(풍천장어), 백합, 바지락(치패) 생산성 확대
- o. 지구온난화에 대비한 전해안 방조제 개조 구상 가능

6. 충남 하구의 분류

충분한 자료에 의한 분류가 아니나 개략적으로 대규모, 중규모와 소규모로 충남에 존재하는 하구를 분류할 수 있다. 물론 보다 구체적인 자료를 획득하여 정밀하게 하구의 특성에 따른 분류가 필수적이거나 여기에서는 규모와 담수량, 유역분지에 의해 개략적인 분류에 의해 하구복원의 안을 제시하고자 한다.



그림 22. 중규모의 갯벌항구의 모습
 ■ 대규모 하구 (그림 23)

- ① 금강
- ② 삼교천



그림 23. 금강호(좌)와 삼교천 하구(우)

■ 중규모 하구

- ① 대호천 (그림 24)
- ② 웅천천 (그림 25)
- ③ 보령천 (그림 26)
- ④ 홍천천 (그림 27)

■ 소규모 하구

- ① 송림천 (그림 28)
- ② 관교천 (그림 29)
- ③ 종천천 (그림 30)



그림 24. 대호천
④ 남포천 (그림 31)



그림 25. 웅천천



그림 26. 보령천
⑤ 장포리 (그림 32)
⑥ 교성천 (그림 33)
⑦ 비인천 (그림 34)



그림 27. 홍천천



그림 28. 송림천



그림 29. 관교천



그림 30. 중천천



그림 31. 남포천



그림 32. 장포리 하천



그림 34. 비인천

그림 33. 교성천

7. 대규모 하천의 부분해수유통 적용 방안 제 안 (예: 금강호)

1) 고려해야 할 사항

① 담수의 확보: 농업용수

- 지역적 특성상 금강호는 충분한 담수량을 확보할 필요가 있으므로 해결방안을 모색함에 있어서 분명히 고려되어야만 할 사항임.

② 뱃길 개발, 하구생태계 회복 및 관광용의 수질유지

- 현재 폐쇄되어 있는 하구호 내측의 지역발전과 장항지역 등 금강하구역 외측의 발전을 견인해내기 위해서는 하구둑을 통한 뱃길이 개발될 필요가

있음.

- 전세계적인 추세는 물론 연안어업이 매우 중요한 서천군과 군산시 개야도 해역의 입장에서 하구생태계를 보호하고 복원하는 것은 시대적 요청임.
- 금강하구호를 생태관광과 레조트, 마리나 등 지역발전에 활용하기 위해서는 수질이 농업용수의 기준을 벗어나 최소한 2~3급수를 유지하여야만 됨.

③ 퇴적층 오염 해결

- 금강하구둑 상하류에 두껍게 퇴적되어 있어 수질회복을 불가하게 하는 하나의 요인인 세립질 퇴적물을 제거하여야 할 절대절명의 과제가 있음.
- 장기적으로 군산항의 퇴적물 문제를 해수유동으로 완화시키기 위해서는 자연적인 하구순환의 기능을 회복시킬 필요가 있음.

④ 지역의 발전방향과 동일선상에서 판단되어야 함

- 최근의 국제적인 경향은 “자연환경이 가장 중요한 발전자원”이라는 것이다. 다른 말로 하면 이것은 자연성을 갖고 있지 않은 자연환경을 가진 곳에서는 발전방향을 모색할 수 없으며, 우선적으로 오염된 자연환경을 복원하는 것이 발전계획의 시작이라는 것이다.
- 지역의 특성과 한미 FTA에 대응해야만 하는 입장에서는 금강호의 수질문제는 현상유지나 농업위주가 아닌 혁신적인 방안의 모색이 요구된다.

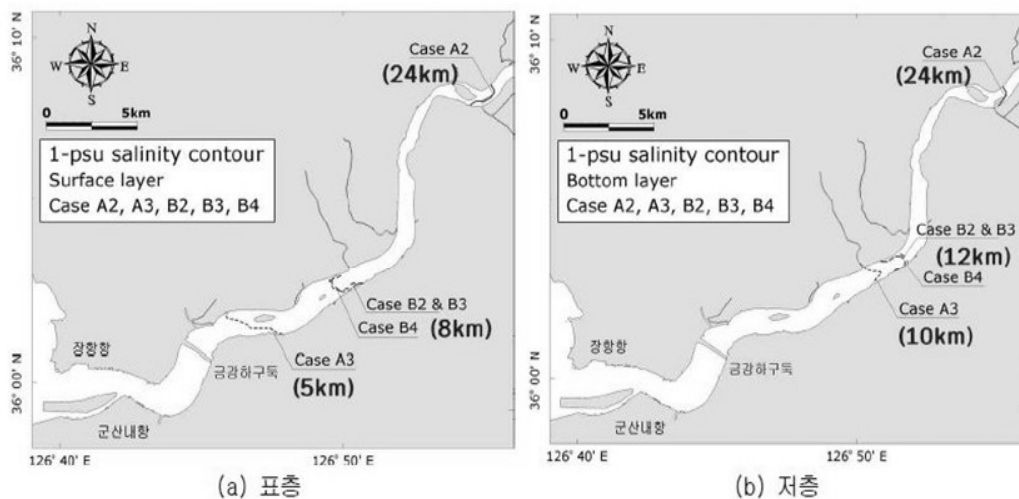
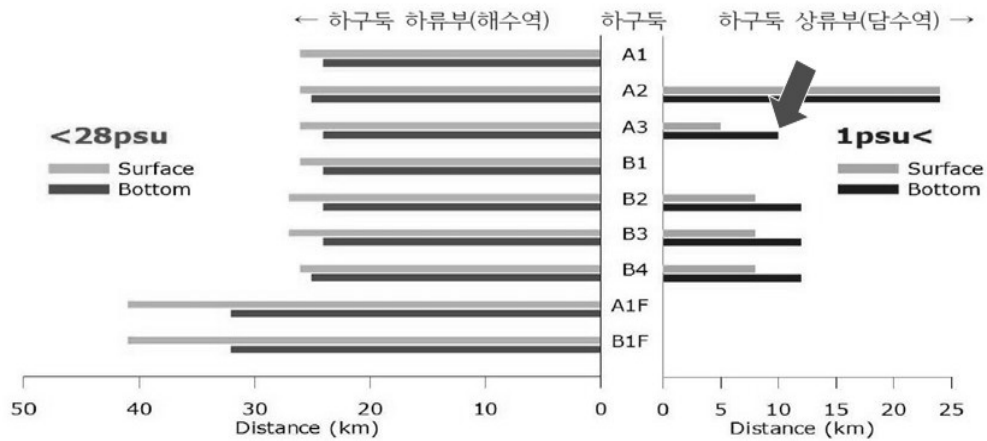
2) 부분해수유통 수치모델링 결과

국토해양부가 2011년 12월 발표한 보고서는 현재의 금강하구둑 갑문을 이용하거나 서천측에 갑문을 추가하여 상시 또는 부분 해수유통을 할 경우에 해수가 어느 정도까지 상류로 침투할 것인지 수치모델결과를 제시하였다. 보고서는 24km까지 해수가 침투하므로 이를 방지하고, 취양수장 이전을 고려할 경우에 엄청난 예산이 들어갈 것으로 예측하여 해수유통이 불가함을 언급하였다. 그러나 수치모형 실험안과 그 결과를 면밀히 검토하면 부분해수유통에 매우 긍정적인 결과를 보여주고 있다. 그림 35의 실험안에서 5개의 수문을 개방하여(A3, B3) 해수를 유입시킬 경우에 표층수는 5~8km, 저층수는 10~12km 침투하는 것을 보여주고 있다. 5개의 갑문(폭 30m, 높이 10m)을 통한 해수유통의 실면적이 $1,500\text{m}^2$ 에 이르므로 네덜란드 휘어스호($5.5 \times 3 \times 2 = 33\text{m}^2$)의 경우와 비교할 때에 금강호의 담수량이 3배임에도 약 50배를 적용한 것은 엄청난 규모의 해수유통을 뜻한다.

<표 7-3-1> 수치모형 실험안

구분	실험안	해수유통	수문위치	개방문수(련)	내용
군산측 수문 유지 (A)	A1 A1F	×	군산측	유출 20	담수 유출, 해수유통 없음
	A2	●		유출 20, 유입 20	상시 해수유통
	A3	△		유출 20, 유입 5	부분 해수유통
서천측 수문 증설 (B)	B1 B1F	×	군산측 서천측	유출 20 유출 10	담수 유출, 해수유통 없음
	B2	△	군산측 서천측	유출 20, 유입 5 유출 10	군산측 부분 해수유통
	B3	△	군산측 서천측	유출 20 유출 10, 유입 5	서천측 부분 해수유통
	B4	△	군산측 서천측	유출 20, 유입 5 유출 10, 유입 5	군산 및 서천측 부분 해수유통

※ × : 해수유통 없음, ● : 상시유통, △ : 부분유통
 ※ A1F, B1F : 홍수시 실험안



<그림 7-3-4> 수치모형 실험안별 상류측 염분 1psu 기준 해수 확산범위

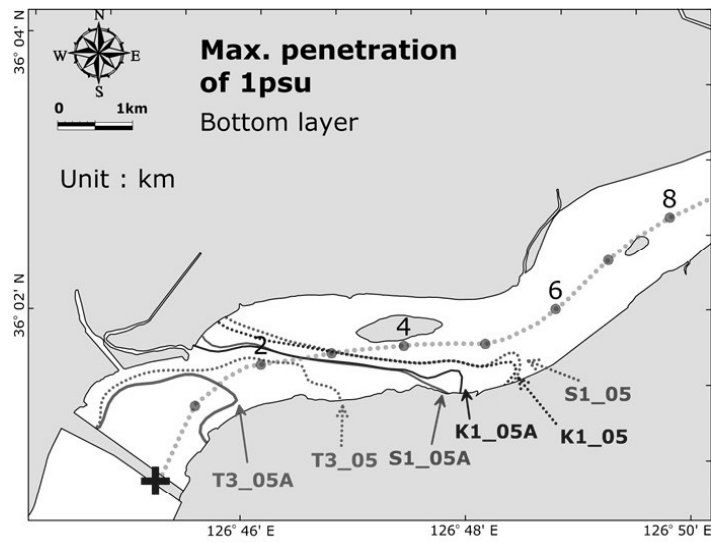
그림 35. 국토해양부 수치모델링 결과 요약.

이 수치모델링 결과가 오히려 긍정적이라는 것은 현재의 갑문을 5개나 열었음에도 저층수가 10km 밖에 침투하지 않았다는 것은 갑문 2~3개만 개방할 경우에 담수에 의한 압력을 고려한다면 저층수가 5km도 침투하지 않을 것임을 의미하기 때문이다. 이것은 저층수의 침투가 심할 경우에 수중보를 설치하여 저층수침투를 방지하여야 하나 그러한 추가적인 시설조차 건설하지 않고 갑문을 적절히 조절하여 개방할 경우에 충분히 저층해수의 침투를 방지할 수 있음을 의미한다. 이러한 결과는 수중보를 건설하지 않고도 갑문을 조절하여 해수가 섞이는 기수역의 범위를 5~12km까지 조절할 수 있다는 의미가 된다. 향후 지역발전모델을 설계할 때에 지역의 합의를 거쳐 보다 넓은 기수역이 필요할 경우에 갑문만 적절히 조절하면 충분히 기수역을 넓히어 기수역을 활용할 수 있다는 뜻이다.

갑문을 5개만 열었을 때에 1‰(psu) 표층수가 5km 밖에 침투하지 못하므로 그 상류의 표층에서는 밭농사를 위한 담수도 공급할 수 있다. 논농사의 경우에 3‰(psu)의 기수도 사용할 수 있으므로 논농사를 위한 담수의 공급에는 5km 상류에서는 전혀 문제가 없다는 것을 뜻한다. 지하수에 유입되는 해수를 차단하기 위해서는 보다 정밀한 수치모델이 필요하므로 이에 대한 대책을 강구해야만 하나 현재의 결과로 추론해 볼 때에 갑문 2~3개를 통한 부분해수유통은 담수공급에 전혀 문제를 야기시키지 않는 것으로 낙관할 수 있다. 물론 이 경우라 하더라도 취양수를 위한 시설은 이전하는 것이 타당하므로 지역에서 합의하는 기수역의 범위에 따라 하구둑에서 5~12km 이내의 취양수장 이전과 관련한 예산투입과 방법에 대해 논의가 필요하다.

서천군에서 시행한 최근의 연구용역의 결과에서는 현재의 기준수위에서 상하로 5cm의 해수를 30분간 유통시킬 경우에 저층수로도 해수가 5km 이상 상류로 전진하지 않음을 알 수 있다. 이 경우라도 5km 이내의 취양수장 3곳을 상류로 이동하거나, 관로를 통하여 5km 상류에서 취수한다면 전혀 문제가 없다는 결과였다. 터널을 이용하여 해수를 유통하면서 양과 시간을 조절한다면 터널 3~5개를 통하여 기수역을 복원할 수 있음을 알 수 있다(그림 36). 수치모델의 안으로 시행하지는 않았으나 금강호의 갑문을 통하여 자주 담수를 방류하고 있으므로 간조시에 시간과 수위를 더 낮게 방류할 수 있으므로 그림 37에서 제시된 해역보다 더 넓게 더 많은 담수를 하구 외측에 공급할 수 있으므로 유부도와 개야도 해역에 넓게 조성되어 있는 해태양식장에도 상당한 긍정적 효과를 낼 수 있을 것으로 판단된다. 네덜란드의 경우처럼 터널을 이용하는 것이 담수량의 조절과 계절적, 시간적 변화를 줄 수 있으므로 더 선호될 수 있는 방안일 것으로 판단된다.

부분해수유통과
저층염수
침투 거리



- $\Delta h=5\text{cm}$ 인 경우 약 45분간 유입. 유입시간을 30분으로 제한시 확산범위 축소
- 유입시간 조절 전
 갯문 운영시(K1_05, S1_05) : 5.3~5.4km, 터널 운영시(T3_05) : 3.1km
- 유입시간 조절 후
 갯문 운영시(K1_05A, S1_05A) 4.6~4.8km, 터널 운영시(T3_05A) 1.5km

그림 36. 갯문(군산측 K, 서천측 S)과 터널(T)에 의해 부분해수유통을 할 경우에 저층염수의 상류 침투거리에 관한 수치모델링 결과.

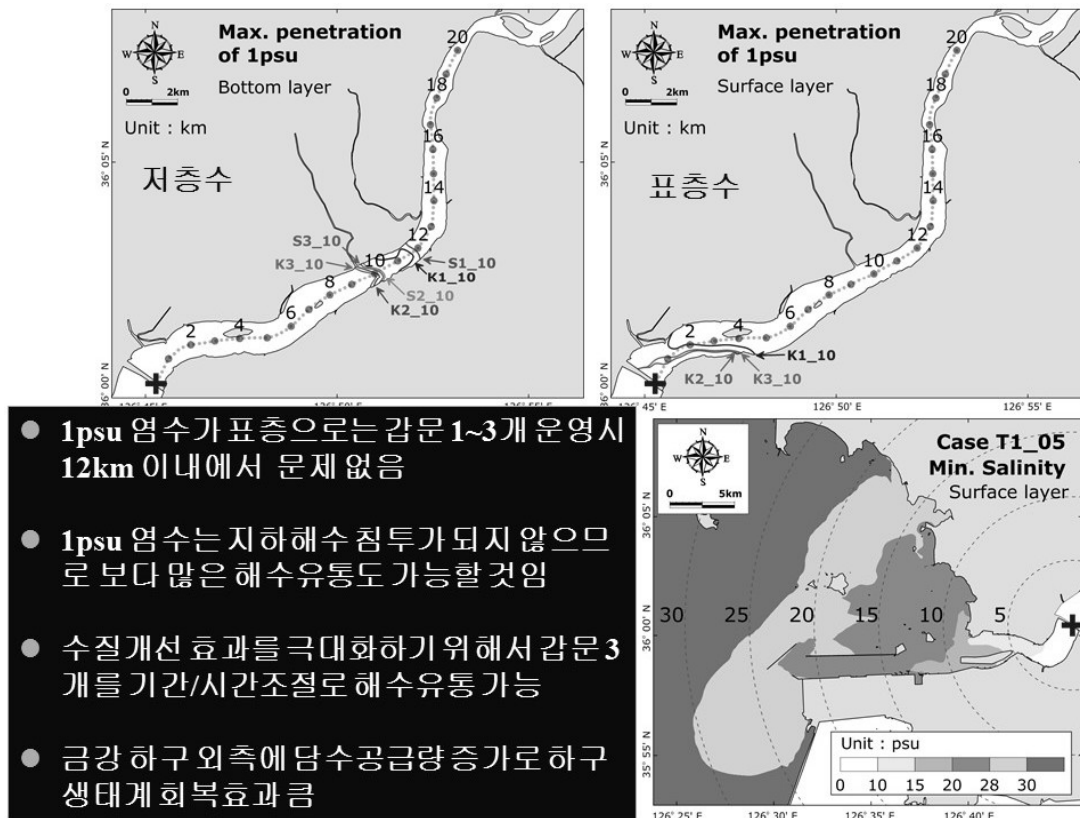


그림 37. 1psu의 기수의 저층과 표층의 침투거리 및 외측에 방류되어 기수를 이루고 있는 해역의 범위.

3) 부분해수유통을 위한 비용 검토

국토해양부가 2011년 12월 발표한 보고서에서는 부분해수유통을 위한 비용을 최소 24km에서 백제보에 이르는 58km까지를 가정하여 계산을 하였다(그림 38). 그러나 금강호의 수질개선과 함께 지역발전을 견인해야 할 기수역의 범위는 5~12km면 충분하다. 필요한 기수역만을 고려한다면 저층수가 침투하는 수역을 하구둑에서 5km 이내면 농업용 담수활용, 새만금 희석수 공급의 문제없이 충분한 것으로 판단된다. 그러나 서천군의 입장을 고려하여 신성리 갈대밭 직상류까지 부분적으로 해수를 공급할 수 있도록 비용을 산정해 볼 필요가 있다.

그림 38에서 보면 부분해수유통에 의해 이전이 되어야 할 취양수장은 5km 기수역일 경우에 군산, 화양, 서포를 이전해야 하며, 12km 기수역을 유지하고자 할 경우에는 강정과 나포 양수장이 포함되어야 할 것이다. 충남도가 기존 양수장에서 21.3km까지 상류에 있는 입포에 취수탑을 건설할 경우로 계산하여 이전비용을 2,240억을 추산하였으며, 농수산식품부는 대형 관경을 제시하면서 7,128억의 비용을 제시하였다(그림 38). 입포에서 취양수를 할 경우에 고창과 양화 양수장을 이전해야 하며, 관로개설을 위한 경비가 매우

높게 될 뿐만 아니라 해수침투거리를 매우 크도록 관리하게 되므로 지하수에 해수의 침투가 문제가 될 소지가 있으므로 관리비를 저감하기 위한 방안을 채택해야만 한다. 12km 기수역으로 산정할 때에 취양수장 이전비용은 농수산식품부가 원하는 관경을 사용한다고 하더라도 4,000억 이내의 비용으로 충분한 것으로 판단된다. 경우에 따라 1,500~4,000억으로 부분해수유통과 지역발전 두 마리 토끼를 모두 잡을 수 있을 것으로 판단된다.

<표 7-5-8> 해수유통시 영향을 받게 될 금강호의 취·양수시설 현황

시설명	행정구역명 시도 시군	관개면적 (ha)	펌프구경 (mm)	전동기 (kW)	단위양수량 (m ³ /s)	대수	양수량 (m ³ /s)	하구둑 상류거리	수치모형별 영향권
군 산 (취수장)	전북 군산	-	450	320.0	0.309	5	1.945	3.5km	A3 (10 km) B2 (12 km)
			300	180.0	0.197	1	0.197		
화 양	충남 서천	4,036	1,000	485.0	2.100	3	6.30	3.8km	A2 (24 km) B4 (12 km)
			850	802.0	1.461	2	2.92		
서 포	전북 군산	9,955	1,200	1230	3.315	8	26.52	4.0km	
강 정	전북 군산	30	350	30.0	0.250	2	0.50	8.3km	
나 포	전북 익산	8,742	1,100	750	2.480	8	19.84	11.5km	
고 장	전북 익산	100	350	30.0	0.250	1	0.25	16.1km	
양 화	충남 부여	322	500	205.0	0.518	2	1.04	19.3km	
			500	343.0	0.525	2	1.05		
지 토	충남 부여	426	500	149.0	0.443	2	0.89	26.1km	
			500	149.0	0.443	2	0.89		

<표 7-5-9> 해수유통으로 취수원 이전에 따른 취수시설 건설비용 비교(단위: 억원)

안별	구분	지역	취수량 (m ³ /day)	관경 (mm)	관로 (km)	취수탑	펌프장	가압장	관로등	용지매수 및 시설부대	합계
1안 일부	취수원 이전	서천	300,000	1,500	21.3	42	110	96	422	-	670
		군산	1,000,000	2,600	21.2	42	240	207	1,081	-	1,570
		계	1,300,000	-	42.5	84	350	303	1,503	-	2,240
	취수원 이전	서천	896,000	4,000	21.3	-	153	-	1,095	114	1,362
		군산	4,255,000	12,000	21.2	-	837	-	4,450	479	5,765
		계	5,141,000	-	42.5	-	990	-	5,545	593	7,123
2안 백제보	취수원 이전	서천	300,000	1,500	48.0	-	110	96	1,235	-	1,441
		군산	1,000,000	2,600	57.9	-	240	207	3,428	-	3,875
		계	1,300,000	-	105.9	-	350	303	4,663	-	5,316
	취수원 이전	서천	1,702,000	5,600	48	-	295	-	3,063	309	3,667
		군산	8,798,000	27,000	57.9	-	1,731	-	21,958	2,156	25,845
		계	10,500,000	-	105.9	-	2,026	-	25,021	2,465	29,512

* 1) 충남도의 각 시설별 세부 소요비용은 <부록표 7-5-2> 참조
2) 농식품부의 각 시설별 세부 소요비용은 <부록표 7-5-3> 참조

그림 38. 국토해양부 보고서(2011.12)에서 기술한 해수유통과 관련한 해수침투거리와 취양수장 이전을 위한 비용 산정표.

4) 부분해수유통과 통선문 개설을 통한 지역발전 방안

■ 하구둑 선진국의 하구둑에 통선문이 없는 경우는 없다!

우리나라가 벤치마킹한 네덜란드나 독일의 하구둑에 통선문이 설치되어 있지 않은 하구둑은 없다(그림 39). 어떠한 형태로든 하구호에 선박을 통행시키는 것은 당연한 것이다. 하구호는 담수공급은 물론 항구, 위락, 심미적 기능을 모두 가져야 그 가치가 있다. 그러나 우리나라의 하구호는 담수공급의 기능밖에 가지고 있지 않다. 우리나라도 이제 이들 선진국들의 하구호를 제대로 벤치마킹할 필요가 있는 시점에 이르렀다는 판단이다. 이들 나라들의 통선문은 완전해수 차단용, 부분해수차단용, 해수유통용 통선문 등 다양하다. 이들 중에 어떠한 것을 택하더라도 하구둑에 통선문의 설치하는 필수적인 지역발전의 방향이다.



그림 39. 네덜란드 하구호의 통선문.

■ 하구호는 가장 정온성이 뛰어난 항구이며 관광자원이다!

하구둑을 건설하여 자연재해를 방지하고 담수공급을 하고 있는 선진국들의 하구호는 다기능의 항구, 농업, 관광레조트 타운이라고 할 수 있다(그림 40). 요트가 정박하는 마리나는 해양으로 열려져 있는 항구가 아니라 육지를 파고 내측에 건설되는 것이 당연하다. 그러나 하구호는 육지를 파고 들어갈 필요가 없는 이상적인 항구의 특성을 가지고 있으므로 통선문만 있다면 자연스럽게 마리나, 관광레조트 단지로 발전하며, 인근 농업은 관광용 농업이 되어 지역민의 소득창출에 엄청난 기여를 하게 된다. 또한 이러한 하구호 레조트 항구는 상업지로도 발전하므로 하나의 해안타운이 들어서게 되므로 인구감소의 문제도 없게 된다. 서천군이나 군산시는 이러한 무한한 잠재성이 있는 자원을 이미 가지고 있다. 이 자원을 썩히는 것은 지역민의 희망을 무참히 파괴하는 것이라고 할 수 있으므로 관과 민, 지자체장은 반드시 이 자원을 활용할 의무가 있다고 할 수 있다.



그림 40. 네덜란드 휘어스호 내의 농업-관광-레조트 복합타운.

■ 하구호는 항구로, 주변 평지는 워터타운으로!

하구호 내측에 존재하는 평지는 이제 단순한 논이나 밭으로 활용하기에는 너무나 귀중한 자산이다. 우리가 선진국이 되기 위해서는, FTA를 극복하기 위해서는 지역발전의 모델을 구상함에 혁신적인 사고의 전환이 필요하다. 하구호의 특성상 일정한 수면을 유지하게 된다. 금강호도 항상 일정한 수면을 유지할 수 있도록 갑문을 조절하고 있다. 이러한 특성은 하구호 주변에 안정적인 워터타운(수로로 연결되어 있어 요트가 집 앞에 정박할 수 있는 타운)을 건설할 수 있다. 선진국에서 이러한 택지는 어떤 대도시 택지의 가격보다 가치가 높다. 그림 41은 이러한 워터타운의 모식도이다. 이들 워터타운이 어떤 형태가 되어야 하는 것인지, 어떤 법적인 조치를 해야하는지는 추후 논의가 될 수 있지만 기본적으로 워터타운은 금강호나 다른 하구호에 반드시 적용이 되어야 할 가치를 가지는 제안이라고 할 수 있다. 물론 이러한 워터타운은 군산시 쪽에도 건설되어야 군산시의 새로운 미래가 있다고 할 수 있다.

대규모 하구에 해당되는 삽교천도 금강호의 경우와 마찬가지로 하구의 기능을 복원

하여 가치를 높이는 방향으로 지속가능한 발전을 할 수 있을 것으로 판단된다.

5) 부분해수유통/통선문과 관련한 추진 시나리오

■ 1안) 부분해수유통과 통선문 동시 설치!

이상적인 금강호와 하구역 발전모델은 부분해수유통을 통해 새로운 지역발전 구상할 수 있는 기수역을 정의하고, 적절한 규모의 통선문을 설치하여 하구호 주변에 워터타운, marina, 어항 등을 건설하는 것이라고 할 수 있다. 물론 이러한 발전모델의 전제조건은 상류로부터 오염원을 차단하고 관리하여 하구호의 수질을 2급수로 유지하는 것이라 할 수 있다. 상류에서 점오염원을 완전히 차단하더라도 비점오염원에 의한 하구호의 수질을 유지하기 어려우므로 해수를 부분적으로 유통시켜 이들 비점오염물을 해양으로 배출하고 희석하여 수질을 유지할 필요가 있다. 이들 오염물질들은 바다로 나가서는 영양염이 되어 금강하구역의 어장을 활성화시키는 중요한 자원이 될 수 있다.



그림 41. 금강호 내측의 워터타운 예시.

■ 2안) 우선 통선문 동시 설치 후 부분해수유통 고려!

부분해수유통에 대한 두려움이나 있거나 지역합의가 이루어지지 않을 경우에는 우선적으로 통선문을 설치하여 서천군과 군산시의 공동지역발전의 모델을 수립하여 진행하면서 차후 지역합의를 통해 해수유통을 고려하는 수질개선, 생태환경개선 프로그램을 진행할 수도 있을 것이다. 다음은 이 안에 따르는 단계를 제시한 것이다.

□ 1단계: 하구호를 담수관광항구로 전환

- 관광(생태)어항과 요트(마리나) 항
- 하구호의 서측에 통선문 설치: 해수차단 통선문
- 부분준설, 준설토는 새만금 지역 공급

□ 2단계: 상류 수질개선을 통한 광역생태관광 하구역으로 전환

- 하구-섬-갯벌 연계 생태관광 프로그램
- 하구호 육지부 수변생태도시(Water Town) 추진
- 기수역 확보 및 부분해수유통의 장단점 판단과 지역 합의

□ 3단계: 수질개선이 어려울 경우 부분해수유통 프로그램

- 모니터링 결과 담수호의 수질개선이 불가할 경우에 부분해수유통을 위한 준비
- 수치모델 후 소형의 해수유통용 수문터널 건설
- 적절한 기수역 확보 및 부분해수유통의 장단점 판단과 지역 합의
- 적절한 부분해수유통과 기수역 범위 설정후 부분해수유통을 위한 갑문개폐 또는 추가갑문 설치
- 하구항의 기능을 확대: 통선문 확대
- 기수생태계 복원: 갈대밭 확대, 철새관광지, 기수습지 확대

- 1단계: 하구호를 담수 관광항구로 전환
 - 관광(생태)어항과 요트(마리나)항
 - 하구호의 서측 통선문을 설치: 해수차단 통선문
 - 부분 준설, 준설토 외해투기나 새만금 지역 공급
- 2단계: 수질개선을 통한 광역 생태관광 하구역으로 전환
 - 하구-섬-갯벌 연계 생태관광 프로그램
 - 하구호 육지부 수변생태도시(Water Town) 추진
 - 기수역 확보 및 부분해수유통의 장단점 판단과 지역 합의
- 3단계: 수질개선이 어려울 경우 부분해수유통 프로그램
 - 수질개선 불가할 경우 부분해수유통을 위한 준비
 - 수치모델 후 소형의 해수유통용 수문터널 건설
 - 적절한 기수역의 범위를 판단한 후 개방형 수중보 건설
 - 하구항의 기능을 확대: 어선/요트 입항, 통선문 확대
 - 기수생태계를 복원: 갈대밭/기수습지 확대, 철새관광지 활용

8. 중규모 하구 부분해수유통 적용 방안 제안

충남의 하구에서 개략적으로 중규모의 하구로 판단되는 하천은 대호천, 웅천천, 보령천과 홍천천을 들 수 있다. 중규모의 하천의 특징은 조수에 의해 밀려오는 해수의 양에 비해 담수의 양이 부족한 하구의 물리적 특성을 가진다. 이러한 하구에서는 부분해수유통이라고 하더라도 짧은 시간에 하구호의 담수가 모두 해수 또는 염분이 높은 기수로 변할 가능성이 높다. 이와 같은 하구에서는 하구를 복원할 경우에 기존의 산업에 대해서 충분히 안정성을 유지토록 해야 한다. 그러나 수질개선을 위해서는 충분한 해수가 필요하므로 그림 15에서 제시된 것과 같은 수중보가 필요할 것이며, 수중보에 의해 다시 상류에서 수질에 악영향을 미칠 수 있으므로 자주 수중보 상류 저층에 퇴적되는 퇴적층을 방류하기 위해서는 개방형 수중보가 필요하다.

충남에서 문제가 되고 있는 부남호와 간월호도 유입담수량이 적으므로 중규모의 하구로 분류할 수 있다. 여기에서는 부남호와 간월호를 대상으로 대략적으로 부분해수유통에 대해 검토해본다.

1) 부남호와 간월호에 퇴적된 오염퇴적물(오니) 문제

부남호와 간월호의 수질개선을 위한 오니의 해결책으로 현재 제시되어 있으며 이미 추진하고 있는 사업이 준설에 의한 개선방법이다(그림 42, 43).

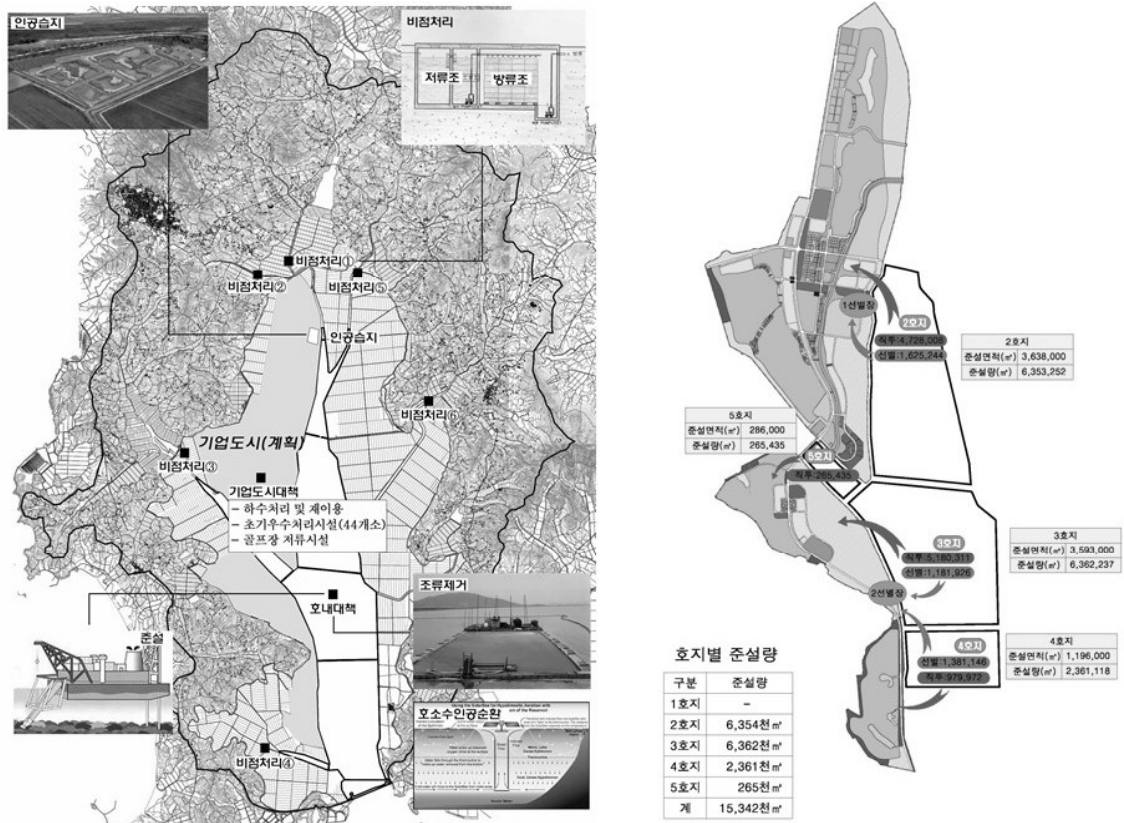


그림 42. 부산호의 기업도시계획과 준설계획

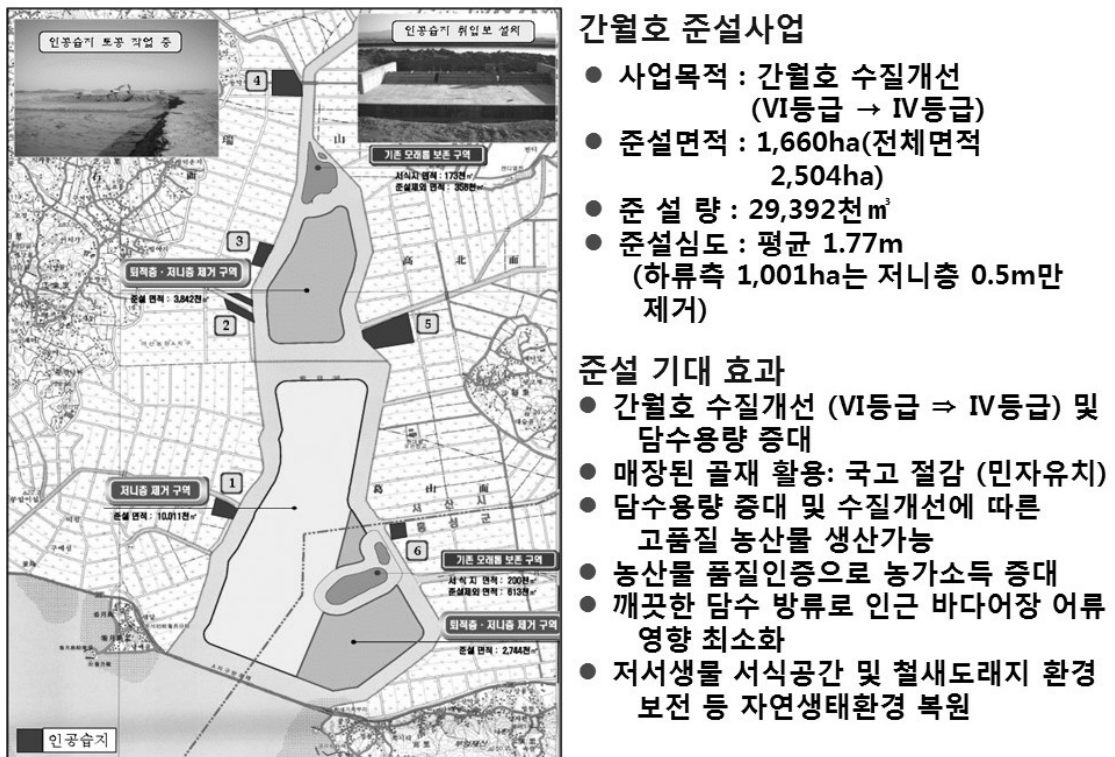
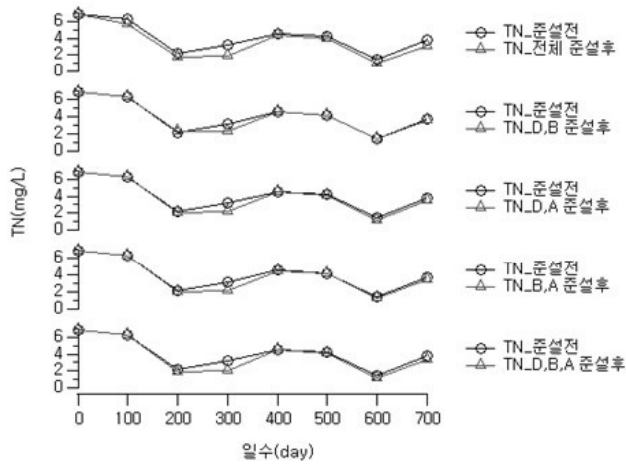


그림 43. 간월호의 준설계획과 목표치

그러나 준설은 다시 준설을 낳을 수밖에 없으므로 항구적인 수질개선의 방법도 아니며, 추가적인 비용이 어마어마하여 합리적인 개선방법이라 할 수 없다. 영산호의 경우에도 대규모의 준설에 의해 수질개선 방안을 검토하였으나 약 6천만 m^3 을 준설하기 위해 1조 1천억의 경비가 필요하나 약 3년 이내에 다시 준설을 해야 하는 결과를 얻었다(그림 44). 부남호나 간월호에서도 현재의 상태를 유지한다면 준설의 효과가 오래가지 않을 것이며, 다시 준설을 해야 한다는 것으로 보여준다. 현재 현대나 농촌공사가 추진하고 있는 대책이 단기적인 효과에 불과함을 의미한다. 또한 부남호의 경우에 기업도시를 조성하는 곳에 오니를 투여하고 있으므로 향후 지하수 오염문제도 발생할 수 있다는 점에서 유의를 해야 한다. 간월호에서는 3천만 m^3 을 준설한 이후에도 겨우 4급수를 유지한다면 간월호의 수질로 미래형 수변공간을 조성할 수 없으며, 친환경농업의 인증을 받을 수 있는 농산물도 생산할 수 없음을 의미한다.

중규모의 하구복원을 위해서는 해수차단을 위한 수중보 또는 방수제가 필요하며, 적절한 규모의 담수를 주기적으로 기수역에 방출하여 희석시킨 후에 해역으로 방류를 함으로서 외측의 해역의 수질도 유지하고, 담수구역에 오염을 야기하는 유기물을 제거하는 하구의 기능을 활용하는 것이 가장 좋은 방법으로 판단된다(그림 45). 부남호의 경우에서측의 기업도시지역은 농업용 담수호가 필요하지 않을 것이므로 동측에만 담수로를 건설하여 하류지역에 농업용수를 공급하도록 하며, 간월호에서는 양측에 담수로를 건설하여 농업용수를 공급하고 하류구역에 해수를 유통시켜 기수역을 유지한다면 하구의 기능을 모두 가지는 하구복원이 될 수 있을 것이다.

■ 준설전후의 T-N 농도변화



■ 준설전후의 T-P 농도변화

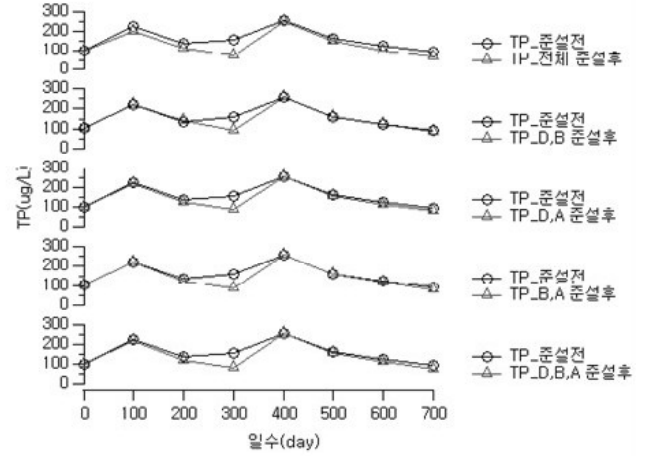


그림 44. 영산호에서 전체 오니를 준설한 이후에 총인과 총질소의 농도변화를 예측모형을 보여주는 것으로 준설 후 약 300일간은 효과가 있었으나 약 700일에 이르러서는 효과가 원상태로 돌아감을 보여준다.

부남호/간월호 기수환경 복원 구상



하구 생태 관광지/휴양지 6차형 관광농업지



그림 45. 중규모 하구인 부남호와 간월호의 하구복원 방안.

9. 소규모 하구 부분해수유통 적용 방안 제안

충남의 연안에 분포하는 하구는 대부분 소규모 하구(송림천, 판교천, 종천천, 남포천, 장포리, 교성천, 비인천 등)에 해당된다. 소규모 하구는 담수량이 매우 부족하여 해수유통을 통하여 대규모 기수역을 확보하기 어려우며 충분한 담수량도 확보하기 어렵다. 이 경우에도 중규모와 마찬가지로 담수를 가두어놓을 수 있는 제방과 담수를 방류할 수 있는 갑문을 상류에 두어 그 하류에 기수 또는 만입형 하구를 복원할 수 있다. 이 경우에 하구는 전형적인 기수역이 아니라 약간의 담수가 유입되는 소규모의 기수역이 형성되나 정온성이 좋은 작은 항구로 사용할 수 있는 공간을 확보할 수 있다는 점에서 지속가능한 발전전략을 수립할 수 있을 것이다.

충남해안의 특성상 조차가 매우 높으므로 갯벌항구를 조성하는 방법으로 하구복원과 항구를 조성할 수 있을 것이다. 가장 좋은 예로 독일의 프리드리히스쿱(그림 46, 47), 도르누머질과 할레질 항구(그림 48)를 들 수 있다. 그림 47의 녹색갯벌은 염습지가 조성되어 있어서 녹색으로 보이고 있음. 갯벌내에 수로를 설치하여 항로를 확보하고 있으며, 주로 창조시를 활용하여 갑문을 이용하여 선박이 내측 항구로 출입을 하고 있으며, 간조시에 갑문을 닫아 내부 항구에 수심을 유지하여 항구의 정온성을 확보하고 있다(그림 47).



독일 Friedrichskoog

그림 46. 독일 쉘레스비히홀스타인 해안의 프리드리히스쿱 갯벌항구의 모습으로 갯벌에 항로를 유지하도록 하며 주로 창조시에 선박이 출입하고 있으며, 항구내에는 갑문으로 수심을 유지하여 정온성을 확보하고 있음.



그림 47. 독일 프리드리히스쿱 항구의 갯벌쪽 수로와 갑문 내측의 항구를 보여주는 사진.



그림 48. 독일 니더작센 해안의 도르누머질과 할레질 항구의 모습. 항구는 모두 육지 내측으로 들어간 곳에 구성되어 있으며, 갯벌로는 수로를 두어 항로를 유지하고 있음.

독일의 도르누머질과 할레질 항구(그림 48)의 갑문 위로는 차도가 있으며 다리를 들어올려 차량이 통과하도록 되어 있다. 항구에는 내측의 호수로 드나드는 선박을 위해서 신호등이 설치되어 있다.

그림 49는 송림천에 독일의 갯벌항구를 접목하였을 때 적용할 수 있는 방안을 모식화한 것으로 항구주변을 새로운 주거와 마리아와 관광시설로 바꾸어 지역의 가치를 확대하는 것임. 주변에 농지에 담수를 공급하기 위해서는 상류에 작은 갑문을 설치하여 담수를 확보할 필요가 있으며, 홍수시에 담수를 배출할 수 있도록 관리되어야 함. 갯벌에는 수로를 설치하여 항로를 유지하도록 해야 함.



그림 49. 서천 송림천에 독일의 갯벌항구의 모델을 접목해 본 모식도임.

