



경인아라뱃길의 물환경 관리방안



정 선 아 |
한국수자원공사 K-water연구원 선임연구원
jsa@kwater.or.kr



고 덕 구 |
한국수자원공사 K-water연구원 연구원장
dkkoh@kwater.or.kr



박 천 홍 |
한국수자원공사 경인아라뱃길사업본부 차장
chunhong@kwater.or.kr



정 의 택 |
한국수자원공사 경인아라뱃길사업본부 아라뱃길
운영처장
jet@kwater.or.kr

1. 서론

경인아라뱃길은 기존에 시행된 굴포천 방수로 중 13.9km를 활용하여 한강과 서해를 잇는 국내 최초의 운하로 만들어졌다. 수도권 화물의 도로운송을 일부 운하운송으로 분산하여 물류체계를 다양화하고, 운송비 절감, 교통난 완화, 저탄소 녹색성장에 기여하고

- **Project Cost: 1.6 Billion US\$**
- **Construction Period: 2009 ~ 2011**
- **Main Facilities: Waterway 18 km, two terminals, three lock chambers (at each terminal)**

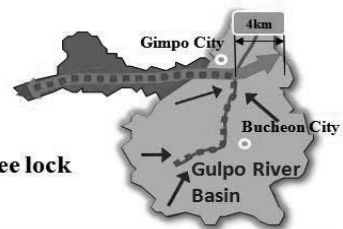


그림 1. 경인아라뱃길 사업개요 및 조감도

자 하는 신성장 동력 국책사업으로 추진되고 있다. 경인아라뱃길 건설사업의 사업구간은 인천 서구 경서동(서해)에서 서울 강서구 개화동(행주대교)까지 주운수로 구간 18 km(저폭 80m, 평균수심 6.3m)이며, 284만m²의 인천터미널과 191만m²의 김포터미널을 포함한다(그림 1). 총 사업기간은 2009년 1월에서 2012년 12월까지이고, 총 사업비는 2조 2,500억 원이다. 또한 경인아라뱃길 18.7km 구간은 2011년 1월 7일에 국가하천 “아라천”으로 고시(국토해양부 고시 제 2011-3호)됨에 따라, 건전한 하천 기능을 위한 수량, 수질 및 생태를 통합한 종합적인 관리대책이 요구되고 있다. 경인아라뱃길사업 타당성 조사 단계에서 주운수로의 수질을 유지하기 위하여 해수(서해)와 담수(한강)를 동시에 유입하는 인공기수역(artificial brackish water zone)으로의 운영이 검토되었다. 그러나 국내에는 기수역에 대한 수질기준이 없고 운하의 운영관리 경험이 없어 불확실성이 존재하고 있는 실정이다. 또한 환경영향평가시 수질예측을 통해 운영 단계의 수질관리 목표 및 보전대책을 수립하였으나, 부영양화, 적조 및 녹조 과다발생 등의 사전에 예상하지 못한 이상 수질현상에 대비할 수 있도록 최

적 수질관리방안을 수립하고 효과적인 환경관리에 적극 활용할 필요가 있다. 본 고에서는 경인아라뱃길의 수질관리 기준수립 배경과 수질관리를 위한 운영계획, 건전한 수환경 유지를 위한 수질관리 방안에 대하여 소개하고자 한다.

2. 수질관리 기준 수립

국내에서 경인아라뱃길과 같은 운하에 관한 조사 연구는 전무한 상태에 있으며, 경인운하사업 타당성 조사(한국수자원공사, 2007)가 최초로 볼 수 있고, 최근에 4대강과 관련한 운하건설 검토가 일부 있었다. 그러나 앞서 서술한 대로 국내에는 기수역에 대한 수질관리 기준이 없어 아라천 수환경 관리에 적합한 목표수질의 설정이 필요하게 되었다. 경인아라뱃길은 한강 하류에 위치하고 있어 유입수의 오염도가 높아 수질관리 상의 어려움이 존재하며, 특히 그림 2에서와 같이 한강수는 조류농도(chl-a)가 높으며 굴포천은 매우 낮은 용존산소(DO)와 높은 유기물질 오염도를 나타내고 있어 이에 따른 대응책이 필요하다.



그림 2. 경인아라뱃길 유입수 수질 현황

「경인운하사업(주운수로) 환경영향평가서」(한국수자원공사, 2009)에서 당초 해수 8.3m³/sec와 담수 4.1 m³/sec 로의 운영이 계획되었으나, 주운수로의 유지수량 확보와 수질보전을 동시에 고려한 다양한 대안이 평가되어야 하고, 특히, 주운수로 내 물 체류시간의 최대 단축방안이 적극 고려해야 한다는 의견이 제기됨에 따라 보완평가서에서 다양한 대안을 평가하였다. 검토 결과, 해수유입 20m³/sec 와 담수 유입량 10m³/sec의 대안이 주운수로의 정체방지와 수질개선에 적합한 방안으로 선정되었으며(그림 3), 이때의 체류시간은 약 6일로 산정되었다. 수질관리 목표기준은 선정된 대안(담수 10m³/sec + 해수 20m³/sec)을 고려하여 검토되었으며, 경인운하 주운수로의 주요 역할이 선박의 운항인 점을 고려하고, 주운수로에 이용하는 이용객에게 크게 불편감을 주지 않는 수준의 수질인 농업용수 수질기준인 IV등급의 수질 수준을 참조하여 관리목표수질이 설정되었다(표 1). 수질항목 중 COD의 경우, 한강 하류지역의 수질영향을 크게 받고 있는 주운수로의 수질을 고려하고, 주운수로에 대한 수질예측결과를 토대로 달성 가능한 범위 내에서 설정되었으며, 질소(N), 인(P)에 대해서도 한강 유입수의 연평균 수질을 고려하여 관리기준이 설정되

표 1. 경인아라뱃길의 목표수질 관리기준

구분	목표수질 관리기준	비고
COD	7.0 mg/L 이하 상·중·하 평균	
DO	5.0 mg/L 이상 하층 평균	평상시 5mg/L이상 유지
T-N	6.0 mg/L 이하 상·중·하 평균	
T-P	0.5 mg/L 이하 상·중·하 평균	
Chl-a	35mg/m ³ 이하 상층 평균	70mg/m ³ 초과시 비상대책강구

자료) 「경인운하사업(주운수로) 환경영향평가서(보완)」(2009.3, 한국수자원공사)

었다. 종합적으로 경인아라뱃길 주운수로의 관리목표수질을 수질환경기준과 비교할 때 개략적으로 IV등급의 수준인 것으로 판단된다.

3. 수질개선 대책

환경영향평가서 수질모델링을 통해 향후 운영 단계의 수질 예측과 보전대책을 수립하였으나, 최근 기후변화의 영향으로 한강 본류 구간에서의 조류발생이 증가하는 등 미처 예상하지 못한 수질 이상 현상에 대한 대비가 필요하다. 주요 관리대책으로서는 (1)유입수량 조절을 통한 최적 유수소통관리, (2)수중 폭기시설의 운영, (3)실시간 수질모니터링, (4)비점

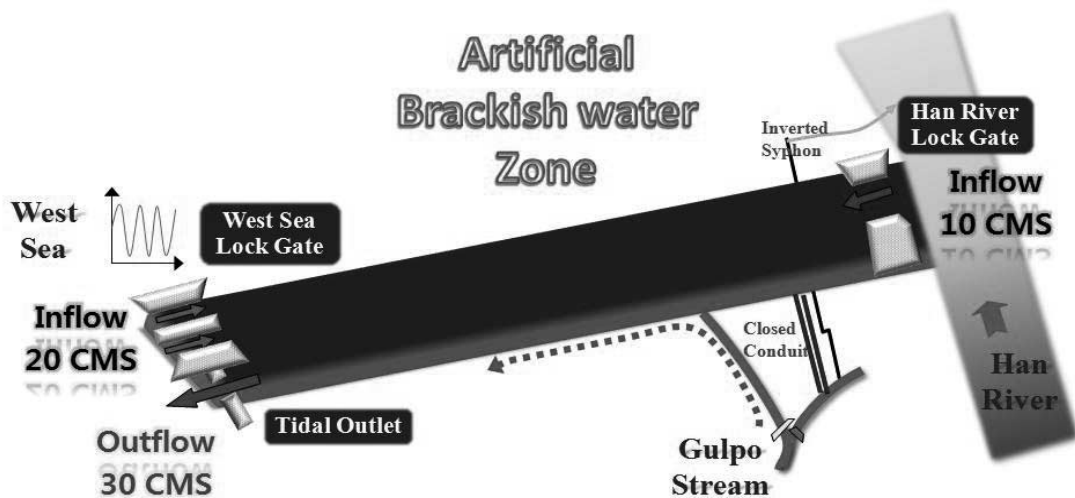


그림 3. 주운과 수질을 고려한 경인아라뱃길 유입 및 방류계획 모식도

오염 저감시설 운영 등이 있으며 각각의 내용은 다음과 같다.

3.1 최적 유수소통 관리

해수유입 20m³/sec 와 담수 유입량 10m³/sec의 대안이 주운수로의 정체예방과 수질개선에 적합한 방안으로 제시되었으나, 계절별로 유입수의 수질은 다양한 변화를 보이므로 목표수질 달성을 위한 수질예측 시스템의 운영이 필요하다. 본 연구에서는 경인아라뱃길 시설물 운영에 따른 수리동역학적 거동 특성의 해석이 가능하며, 염분농도 이동 및 수질변화 특성의 예측이 가능한 EFDC 모형을 선정하여 수질대책 수립에 활용하고자 하였다. 모델구성은 CAD 설계도면 및 HEC-RAS 파일자료를 이용하여 주운수로의 3차원 바닥지형 정보가 포함된 모델격자를 구성하였으며, 수평방향 1,674개, 수직방향 10층의 격자를 구성하였다. 본 연구에서 구축된 수질모델은 환경영향평가시 156개(수평 52개×수직 3층) 격자로 구성된 것과 비교하였을 때 매우 정교한 수리 수질모델링을 결과를 도출하게 된다. 구축된 모델 시스템을 이용하여

경인아라뱃길의 운영시 실시간 수질예측과 의사결정 지원에 활용하고 최적의 유수소통을 통한 수질관리를 실현하고자 한다.

3.2 수중폭기시설

수체의 장기체류로 인한 저산소층 형성을 억제하기 위하여 수중폭기시설이 설치되었다. 또한 대량의 조류 발생시 상하층 간의 수층 혼합을 통하여 조류저감 효과를 기대할 수 있다. 수중폭기장치는 총 8기로서 고정식 6대(17m³air/분·대)와 국부적 산소고갈시 특정지역에 집중 산소공급이 가능한 이동식 2대가 계획되어 운영 중에 있다. 고정식 수중폭기장치는 산기식으로 설계되었으며 발생된 압축공기를 주운수로 바닥에 설치된 산기식 모듈을 통하여 미세하게 저층에 공급하는 설비이다. 이 장비에서는 미세슬릿으로 미세 공기방울이 발생하여 0.3m/sec 이하로 부상하며 수중에 산소를 공급하게 된다. 수중폭기 가동을 통해 생물이 안전하게 서식할 수 있는 DO 5mg/L 이상을 유지하고 수질관리에 적극 활용하고자 한다.

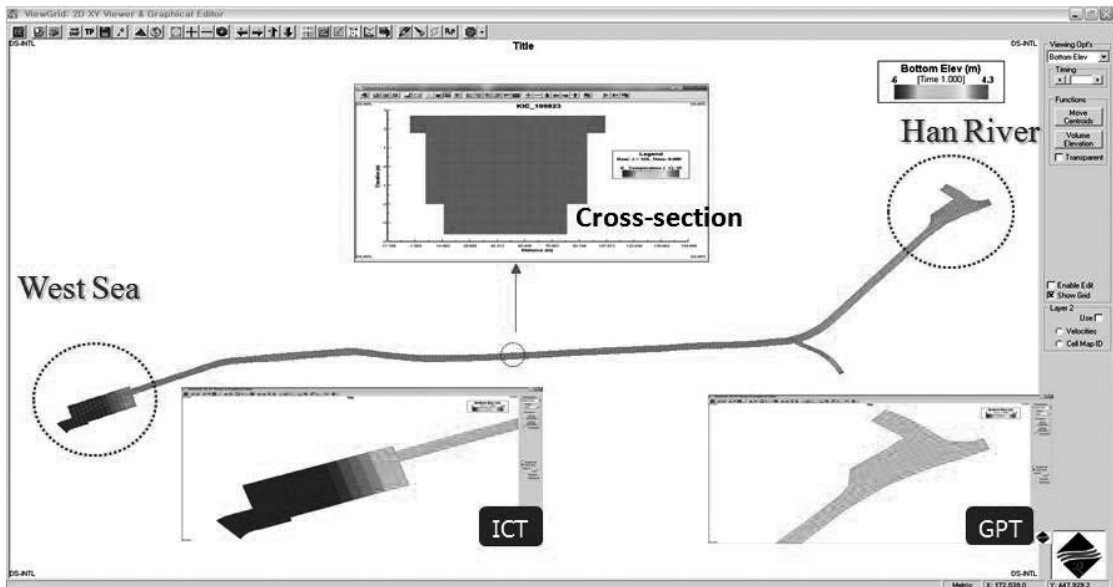



그림 4. 최적 유수소통량 산정을 위한 예측모델 구성도

■ Air Diffuser



- Reduce the hypoxic zone due to stagnant water
- 6 Stationary Facility (capacity : 17 m³ air/min)
- 2 Movable Facility (local hypoxic zone)

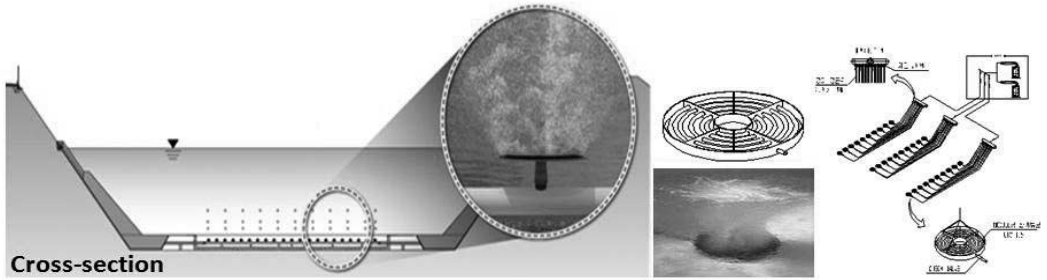


그림 5. 경인아라뱃길에 도입된 수중폭기시설 현황

3.3 실시간 수질감시시스템

수질 및 염분도에 대한 자동모니터링시스템을 설치하여 실시간으로 수질감시 기능을 유지한다. 뱃길 내에는 인천 터미널, 김포터미널, 굴포천 수역을 포함한 총 6개의 수질 자동측정소가 설치되었으며 뱃길

운영으로 인한 한강측 염분영향을 상시 모니터링하기 위한 염분자동측정소 2개소가 설치되었다. 수질자동 측정소 6개소의 감시항목은 수온, 용존산소, 염분도, COD_{Mn}, 탁도, T-N, T-P, Chl-a 등이며 각각의 위치와 구성기기에 대하여 다음 그림 6에 제시하였다. 측정 데이터는 실시간으로 경인아라뱃길 물관리시스



- 6 Monitoring Station for WQ (DO, Salinity, Turbidity, Chl-a, COD, TN, TP)
- 2 Monitoring Station for Salinity

■ Components



Multi
Probe(sensor)



TN, TP
Analyzer



COD
Analyzer



Data
Logger

그림 6. 경인아라뱃길 실시간 수질감시시스템 현황

템에 전송되어 관리자가 조기에 수질이상을 감지할 수 있다.

3.4 비점오염 저감시설

초기우수에 포함되어 유입하는 비점오염물질의 저감을 위하여 총 74개소의 비점오염저감 시설이 설치되어 운영된다. 이중 자연형 시설은 30개소로서 대규모 5개소, 소규모 25개소가 포함된다. 자연형 시설로서는 인공습지, 침사지 등이 포함된다. 대규모시설은 주로 주변 농경지 등 유역에 설치되었으며 소규모 시설은 교량 및 도로에 설치되었다. 장치형은 시설 44개소로 항만 및 터미널 지역에 설치된 대규모 23개소와 교량에 설치된 소규모 21개소로 구성된다. 비점오염저감시설의 설치위치 및 개요도를 그림 7에 나타내었다.

4. 맺음말

경인아라뱃길은 국내 최초의 운하사업으로서 방수

로의 기능을 겸용하여 상습침수 지역인 굴포천의 홍수피해를 방지하는 효과와 함께 운하운송으로 인한 물류비 절감, 교통난 완화, 저탄소 녹색성장에 기여가 기대되는 국책사업이다. 또한 뱃길을 따라 이어지는 테마공간과 파크웨이는 친수문화 공간으로서 수변문화를 제공하며 터미널 및 마리나 시설은 여가 및 수상레포츠 활동이 가능하여 새로운 문화·관광의 패러다임을 제공할 것이다. 이러한 뱃길의 다양한 기능을 실현하기 위해서는 수질관리 및 건전한 수생태환경의 조성이 필연적으로 수반되어야 할 것이다. 경인아라뱃길은 대하천의 하구에 위치하여 상대적으로 오염도가 높은 한강수가 유입된다. 최근에는 기후변화의 영향으로 한강의 조류발생이 빈번해지고 있는 추세이며, 그간 여러 노력의 결과로 BOD농도는 감소하였으나 COD, TP 등 난분해성 유기물과 영양염의 농도는 여전히 높은 상황이다. 이에 본 고에서는 경인아라뱃길의 효율적인 물환경 관리를 위하여 수립된 대책들에 대하여 소개하였으며 간단히 요약하면 그림 8과 같다. 인공기수역으로 구성되어 운영되는 뱃길 내부는 특수한 생태환경이 조성될 것으로 예상되며,

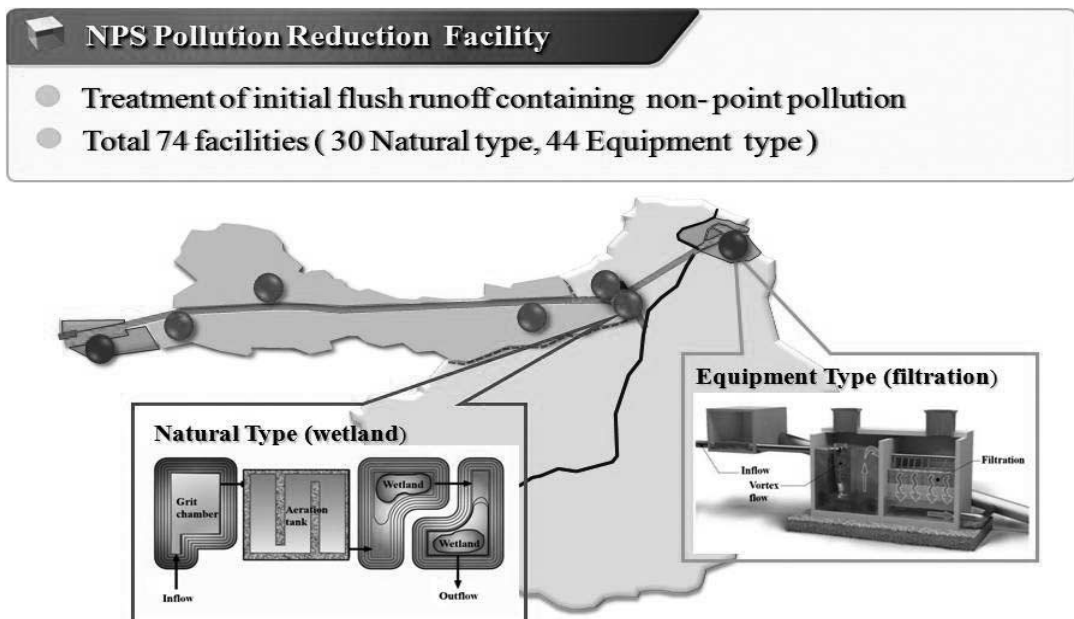


그림 7. 경인아라뱃길 비점오염 저감시설 설치 현황

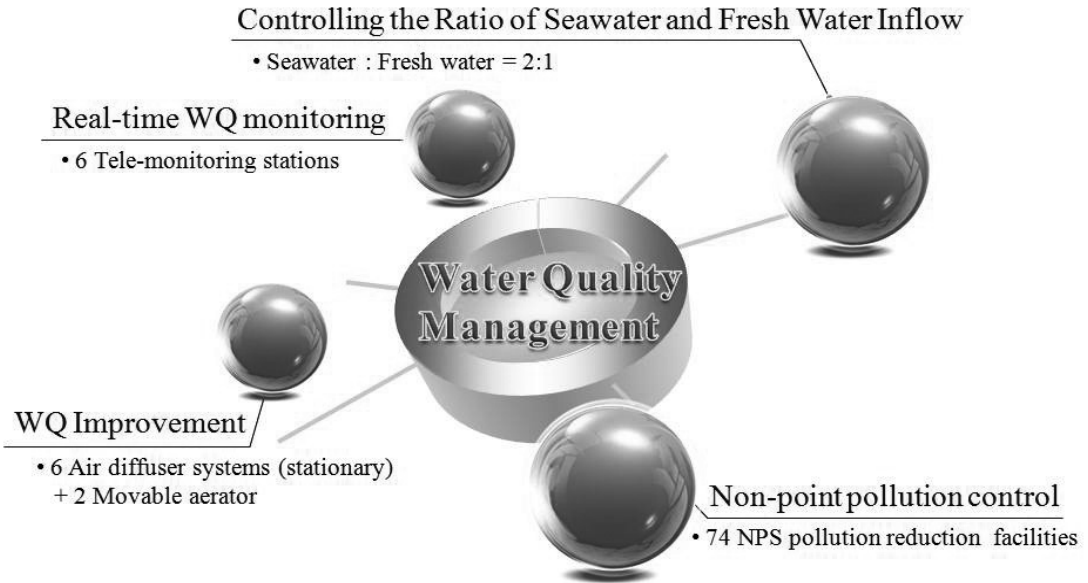


그림 8. 경인아라뱃길 수질관리 방안

국내 최초의 사례인 만큼 지속적인 모니터링을 통해 수환경 변화를 파악하고 최적의 수질관리방안을 수립해 나아가야 할 것이다. 특히, 유입수질 변화에 따른

주운수로의 과학적 수질예측과 수질개선 시설의 최적 운영 경험을 축적하여 인공수로 운영관리에 대한 기술력을 확보하여야 할 것이다. 🌊

참고문헌

1. 한국수자원공사 (2007) 경인운하사업 타당성 및 사업계획 검토 보고서
2. 한국수자원공사 (2009) 경인아라뱃길 사업(김포터미널, 인천터미널 및 항만시설편) 환경영향평가서
3. 한국수자원공사 (2009) 경인아라뱃길 사업(주운수로) 환경영향평가서