경인 아라뱃길의 유입오염원 분석 및 수질예측

Numerical Simulation and Analysis of Influx Pollution Sources in Gyeongin Ara Waterway

황지웅*, 이경수**, 조우성***, 정재광****, 안상진*****

Ji-Woong Hwang, Kyung-Su Lee, Woo-Sung Cho, Jae-Kwang Jung, Sang-Jin Ahn

요 지

경인 아라뱃길은 국내에서 운영된 사례가 없는 기수역 운하로서 유량 및 수환경 관리 등을 포함한 수질관리 상황을 종합적으로 평가하기 위한 대책이 필요하다. 또한 경인 아라뱃길로 유입되는 오염원에 대한 현황 및 현장조사를 실시하고, 유입 오염원인을 정확히 파악하는 것이 중요하다. 따라서 경인 아라뱃길 유역의 수질조사 및 분석, 수질예측을 통해 수질관리 방안을 제시하였다. 분석결과, 홍수시 경인 아라뱃길로 유입되는 굴포천의 DO, BOD, SS는 삼정천의 영향으로 상승하였다. 삼정천은 굴포천 상류에서 부천시와 인천시의 관할 행정구역 면적에 비해 인구밀도가 높고 축산·농가 및 산업계로 인한 미처리 유출수에 의해 굴포천에 직·간접적인 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다. 또한 굴포천 하수처리장 방류 이후 BOD, T-N, T-P의 경우 급상승하였다. 따라서 굴포천 중류의 부천시 삼정동과 인천시 계양구 내 하수 및 폐수를 하수처리장을 통해 배출할 수 있는 공동처리장 운영 등의 처리 방안이 필요하다. 또한 EFDC 모형을 이용한 해수와 담수의 성분비 변화에 대한 경인 아라뱃길의 수질을 예측한 결과, 해수가 많을수록 수질이 BOD, COD 등이 양호 한 것으로 나타났다. 그러나, 염분에 의한 지하수 및 주변환경 변화에 대한 영향을 고려하였을 때, 해수와 담수비를 조절하는 것보다 성분비를 유지하고 유입되는 양을 확대한다면, 경인 아라뱃길의 수질관리는 효과적일 것으로 판단한다.

핵심용어 : 경인 아라뱃길, 오염원, 해수, 담수, 수질개선, EFDC

1. 서 론

경인 아라뱃길(아라천)은 인천서구, 부평구, 계양구, 부천시 중동, 상동, 원미구 등 150만 명이 거주하고 있는 지역의 홍수피해를 방지하고 굴포천 치수대책사업과 방수로의 단점을 보완하기 위해 조성된 국내 최초의 주운형 하천으로 '12년 5월에 개통되고 동년 12월에 준공되었다. 경인 아라뱃길 건설 이후 굴포천 유역의 상습적인 침수피해를 해소하였으며, 경인항을 중심으로 물류단지가 조성되었고, 뱃길을 따라 수변의 경관을 즐길 수 있는 다양한 친수 시설들이 가속화됨에 따라 관광객의 방문도 끊이질 않았다. 하지만 경인 아라뱃길(아라천) 일부 구간에서 악취가 난다는 의견이 제시됨에 따라 수질개선에 따른 연구가 제시되었으며, 몇 가지 상황을 예측할 수 있다. 첫 번째는 서해갑문으로부터 유입되는 해수와 한강갑문으로부터 유입하는 담수가 혼재하여 기수역이 형성되었고, 염분농도 차이에 따른 수체 내 성층현상이 발생하였다. 두 번째는 기립되어 있는 귤현보에 의해 유입되지 않으나 홍수시 귤현보에의해 정체되었던 굴포천이 경인 아라뱃길로

* 정회원・(재)국제도시물정보과학연구원 연구원・E-mail : fwangji0306@naver.com
** 정회원・국민안전처 국립재난안전연구원 시설연구사・E-mail : 39lks@korea.kr
*** 정회원・(재)국제도시물정보과학연구원 연구원・E-mail : jchhr35@naver.com
**** 정회원・(재)국제도시물정보과학연구원 기획실장・E-mail : kill0713@hanmail.net
***** 정회원・(재)국제도시물정보과학연구원 연구원장・E-mail : hydrosys@chungbuk.ac.kr

유입되면서 나타나는 수질오염, 그리고 인근에 건설된 수도권 매립지 유출수의 유입 등으로 경인 아라뱃길에 유입하는 점오염원과 비점오염원이 수변의 환경과 수질오염 등의 문제를 야기 시키고 있을 것으로 예상된다.

따라서, 본 연구에서는 경인 아라뱃길 유역의 수질조사 및 분석, 수질예측을 통해 유입오염원에 대한 영향분석을 통하여 수질관리 방안을 제시하고자 한다. 이를 위해 환경부 수질측정망 자료를 수집하고, 굴포천 지점의 수질조사를 실시하였다. 또한 해수와 담수의 성분비 변화에 따른 경인 아라뱃길의 수질을 예측하기 위해 EFDC모형을 이용하였다.

2. 수질조사 및 예측모형

2.1 수질조사

수질조사는「수질오염공정시험기준(환경부고시 제2014-163호)」에 총칙에 따라「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」제6조에 따라 수행하였으며, 시료 채취방법은 배출허용기준 적합여부 판정을 위한 시료채취 및 하천수, 지하수 등 각 시료채취에 따른 법적 사항을 적용하였다.

2.2 EFDC(Environment Fluid Dynamics Code) 모델

EFDC(환경 유체 동역학 코드, Hamrick, 1992)모형은 버지니아 해양과학연구소(VIMS: Virginia Institute of Marine Science)에서 개발되었으며, Hydrodynamics, Water Quality, Sediment Transport, Toxic 등 총 4개의 모듈로 구성되어 있다. Hydro dynamics 모듈의 구동 결과인 수심, 유속, 흐름, 혼합 등의 자료들은 다시 수질모의와 부유사 이송, 독성물질 모의를 위한 입력 자료로 사용된다. 또한 EFDC 모형은 유체의 이동, 염분 및 온도 모의 외에도 흡착성 또는 비흡착성 부유물질의 이동, 오염원 유입에 의한 희석, 부영양화 기작, 독성 오염물질의 이동 및 반응 등에 대한 모의도 가능하다. EFDC의 수질 모형의 경우 수동역학 모듈로 연계되어 있으며, 용존산소(Dissolved Oxygen), 화학적 산소 요구량(Chemical Oxygen Demand), 해조류(Algae), 탄소(Carbon), 인(Phosphorus), 규소(Silica) 및 활성금속(Active Metal) 등 수질에 대하여 모의가 가능하다.

3. 연구 범위

본 연구의 대상 범위는 그림 1과 같이 국내 최초의 운하사업인 경인 아라뱃길은 상습적인 침수 피해에 시달리는 굴포천 유역의 홍수방지를 위해 시행중이였던 '굴포천 방수로(길이 14 ㎞, 폭 80 m)'를 4 ㎞ 떨어진 한강과 연결하여 홍수시에는 홍수피해 방지를 위한 방수로로 이용하고, 평상시에는 운하로 사용 하도록 건설한 운하이다. 경인 아라뱃길의 주요 시설은 아라 서해갑문, 주운수로, 아라 한강갑문으로 구분된다.

그림 1. 경인 아라뱃길의 채수 및 수질모의 범위

표 1. 채수 및 수질모의 지점

수질채수(10지점)			수질예측(4지점)		
구분		지점	구분		지점
굴포천	①	도두리교	서해	①	서해갑문
	②	중앙교			
	③	하수처리장 방류구			
	④	당미교			
귤현보	⑤	귤현보 상류	굴포천	②	굴포천 합류전
	⑥	귤현보 하류		③	굴포천 합류후
한강	⑦	한강 갑문			
굴포천 합류부	⑧	두리나루	한강	④	한강갑문
	⑨	귤현나루			
서해	⑩	서해 갑문			

유입 오염원조사 지점은 표 1과 같이 수질채수 10지점과 수질예측 4지점으로 구분되며, 채수지점은 굴포천으로 유입하는 지천의 영향을 분석하기 위해 선정되었고, 수질 예측지점은 서해갑문으로 유입하는 해수, 굴포천의 유입 전·후, 한강갑문으로 유입하는 담수에 따른 영향 범위를 분석하기 위해 선정되었다. 여기서, 환경영향평가에서 경인 아라뱃길 운하의 유지 운영방안으로 제시된 해수 20 ㎥/s, 담수 10 ㎥/s이 경인 아라뱃길 수질에 있어 가장 적합한지를 판단하기 위해 표 2와 같이 수질모의 평가에 적용하였다. 또한, 수질분석 항목은 용존산소량(DO), 생물학적 산소요구량(BOD), 부영양화의 원인으로 작용하는 총인(T-P), 총질소(T-N), 클로로필(Chl.a)로 구성하였다.

표 2. 성분비에 따른 수질변화

구분	성분비
1	해수(10) : 담수(10)
2	해수(10) : 담수(20)
3	해수(10) : 담수(30)
4	해수(20) : 담수(10)
5	해수(30) : 담수(10)

4. 수질조사 및 모의결과

4.1 수질 조사결과

수질조사는 총 6회 실시하였으며, 6가지의 수질항목(pH, DO, BOD, 탁도, T-N, T-P)의 채수 및 분석을 실시하였으며 결과는 그림 2와 같다. 경인 아라뱃길 수질측정 결과 DO는 굴포천 상류 구간이 높게 나타났으며, 경인 아라뱃길 유입 이후 낮아지는 것으로 나타났다. 특히 3번 지점의 경우 하수처리수가 굴포천에 유입되지만 DO의 수치는 오히려 하수처리장 이후에 감소하였다. 이것은 처리수의 높은 BOD농도 DO의 농도에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

1번 지점과 2번 지점 사이에 유입하는 삼정천의 영향으로 인해 탁도의 수치가 짙어진 것으로 나타났다. 이러한 현상은 삼정천은 공업단지를 가로질러 흐르는 하천으로 산업계 오염원에 직·간접적인 영향이 미쳤을 것으로 판단된다. pH의 경우 지점마다 크게 변화는 없었으며, 귤현보 상류 부근에서 증가하였다. 그러나, 관측 시기가 굴포천이 한강으로 유입되는 시점이기 때문에 수질에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. T-N과 T-P의 경우 굴포천 상류지점에서 0.6 ㎎/ℓ,

0.29 ㎎/ℓ이고, 삼정천이 합류한 이후 0.50 ㎎/ℓ, 0.47 ㎎/ℓ로 나타나 삼정천의 합류가 T-N보다는 T-P의 농도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그 외 경인 아라뱃길 지점은 굴포천에 비해 상대적으로 낮은 것으로 나타났으며, 굴포천의 영향을 받고 있는 것으로 판단된다.

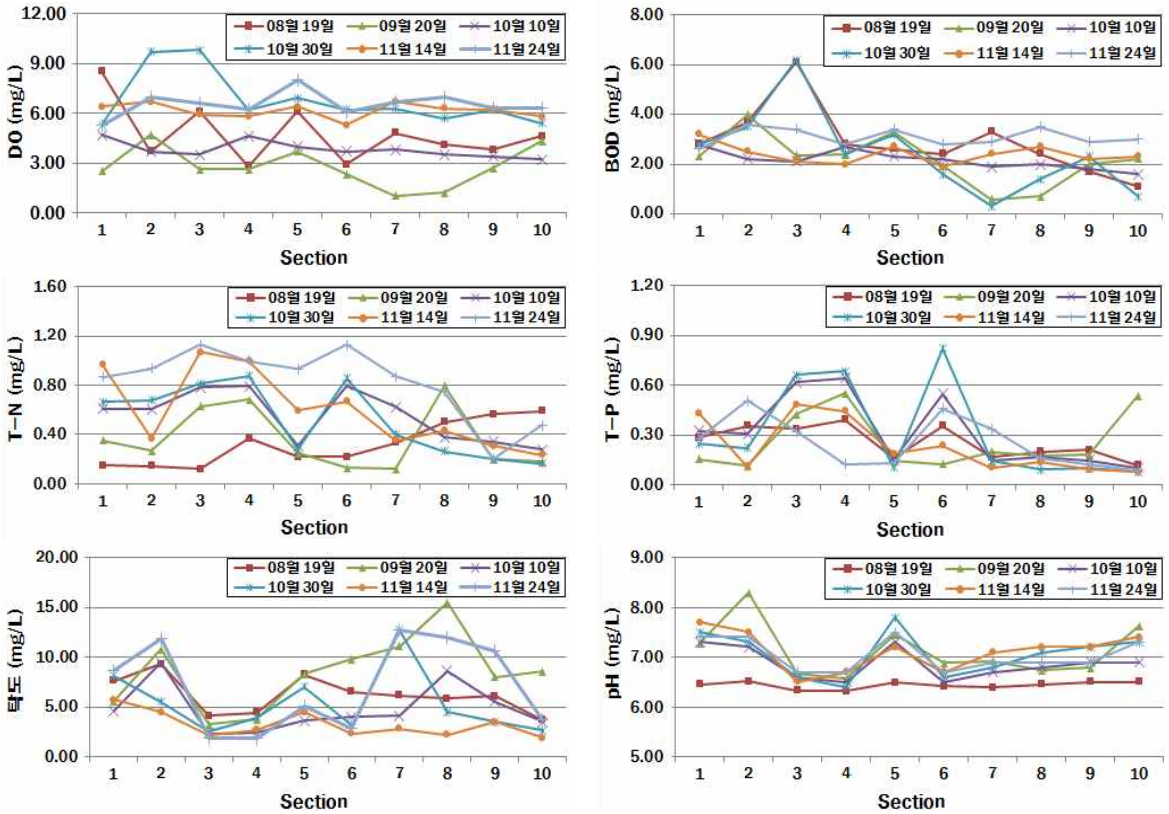
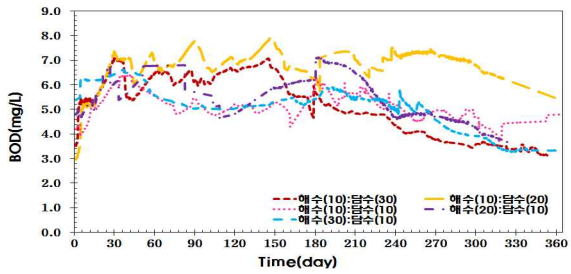


그림 2. 채수 지점별 분석결과

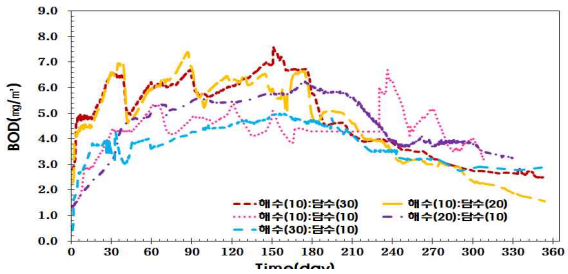
4.2 수질 모의결과

경인 아라뱃길의 수질개선을 위한 해수와 담수의 성분비 변화에 따른 시나리오를 분석하였다. 분석결과 아라뱃길 내 수질은 한강과 서해갑문에서 유입되는 유량의 크기에 영향을 받는 것을 확인하였다. 그림 3과 같이 한강갑문은 BOD 기준으로 평균 4.10 ㎎/ℓ이며, 서해갑문은 3.52 ㎎/ℓ으로 서해갑문 주변의 수질이 바교적 양호한 것으로 나타났다. 또한 서해갑문에서 한강갑문으로 갈수록 수질이 저하되는 경향이 나타났다. 서해갑문 지점에서는 해수(10):담수(10), 해수(20):담수(10), 해수(30):담수(10)일 때 각각 평균적으로 BOD가 4.10 ㎎/ℓ, 2.34 ㎎/ℓ, 2.95 ㎎/ℓ으로 해수가 많이 유입될수록 수질개선에 유리한 조건임이 확인되었다.

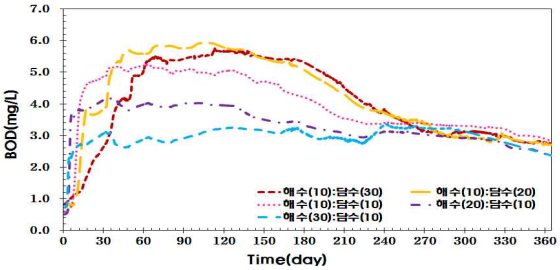
한강갑문 지점에서는 3.86 ㎎/ℓ의 BOD가 아라뱃길로 유입되면서 해수보다는 담수의 영향력이 확대되는 것으로 보였으나 해수(10):담수(10), 해수(10):담수(20), 해수(10):담수(30)인 조건에서 4.10 ㎎/ℓ, 4.70 ㎎/ℓ, 4.05 ㎎/ℓ으로 담수의 양이 많아질수록 아라뱃길에 미치는 영향이 작았다. 이는 BOD가 3.52 ㎎/ℓ이하인 한강유량이 경인 아라뱃길의 수질에 영향을 미치지만 유수 소통을 확대할수록 수질관리에 유리한 조건이라는 것을 의미한다.



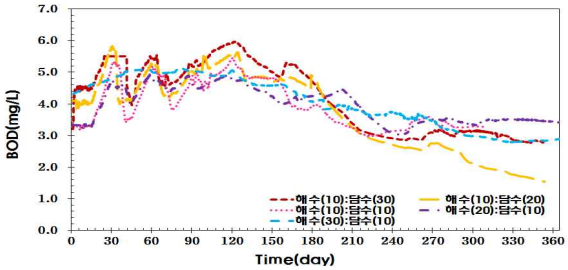
(a) 굴포천 합류전 BOD



(b) 굴포천 합류전 BOD



(c) 서해갑문 BOD



(d) 한강갑문 BOD

그림 3. 수질모의 지점별 분석결과(BOD)

5. 결론

본 연구는 국내 최초의 주운형 하천으로 건설된 경인 아라뱃길의 유입오염원에 따른 수질관리 상황을 종합적으로 평가하기 위한 목적으로 수질 분석 및 예측하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 굴포천으로 유입되는 삼정천 인근에 위치한 공업단지에서 배출되는 오염수와 굴포천 상류에 위치한 행정구역의 오염수로 인하여 굴포천의 수질오염도가 직·간접적인 영향을 받고 있을 것으로 나타났다.
2. 굴포천 중류의 행정구역 내 하수 및 폐수를 관리하기 위한 공동처리장 운영 등의 방안이 필요할 것으로 판단된다.
3. EFDC를 이용한 해수와 담수의 성분비 변화에 대한 경인 아라뱃길의 수질을 예측한 결과 해수가 많을수록 수질이 양호한 것으로 분석되었다. 그러나, 염분에 의한 지하수 및 주변 환경 변화에 대한 영향을 고려하였을 때, 해수와 담수비를 조절하는 것보다 성분비를 유지하고 유입되는 양을 확대할 경우 경인 아라뱃길의 수질관리는 효과적일 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 한국수자원공사의 '경인 아라뱃길 유입오염원 관리방안 연구'과제의 일환으로 이루어졌습니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 환경부(2014). 수질오염공정시험기준.