

서해안 조위를 고려한 한강 하류부의 흐름 및 확산

Flow and Diffusion of Lower Han River Considering Tidal Elevation in Yellow Sea

서일원* · 송창근** · 이명은***

Seo, Il Won · Song, Chang Geun · Lee, Myung Eun

Abstract

It is well-known fact that tidal difference between the ebb and flow in Yellow Sea is about 9 m so that it has largest value in the world. This wide range of tide level enables Yellow Sea water to intrude into main stream of Han River. However, the study of the tidal reach of Han River has not been carried out thoroughly since North and South Korea share this region so that topography data and physical measurement are lacking. In this study, to examine the reverse flow and dispersion behavior by tidal effect at the tidal reach of Han River, 2-D river analysis models were applied. RMA-2 was applied to calculate the horizontal velocities and water surface elevation. With the results of velocities and water depth, RAM4, which is 2-D advection-dispersion model based on FEM was simulated to analyze the horizontal transport behavior of BOD.

key words: tidal difference, reverse flow, dispersion, RMA-2, RAM4

1. 서론

하구는 강과 바다가 만나는 곳으로 소중한 생태자원의 보고이며, 철새들의 쉼터로 이용된다. 이 구간은 담수와 염수가 만나므로 바닥물의 조석운동에 의해 해수가 강의 상류로 치고 올라가 용수공급 및 수질관리에 매우 어려움을 주기도 한다. 한강 하구역은 국내 4대강 가운데 유일하게 하구둑이 설치되어 있지 않아 조수의 출입이 자유롭고 민간인의 접근이 통제되어 자연적인 하천지형과 기수역 생태계가 잘 보전된 곳이다. 한강 하류부는 팔당댐에서 방류된 유입수와 서해안의 조석이 큰 영향을 미치고 있으며 임진강을 비롯한 여러 지류의 유입수와 교량, 수중보와 같은 인위적 구조물에 의해 하천의 흐름이 복잡한 양상을 나타내고 있다 (김상호 등, 2003). 수도권 시민의 상수원이자 최근 환경 친화적 기능이 부각되고 있는 한강을 관리함에 있어 한강 하류부의 수리해석은 매우 중요한 실정이다.

기존의 한강 하류부 수치모의에 대한 연구를 살펴보면 단면자료 획득의 어려움이나 유도의 조위자료가 없어서 하류 경계단을 전류지점으로 하여 모의한 논문이 대부분이나 본 연구에서는 유도 및 임진강 유역의 단면을 가정하고 인천검조소의 조위자료를 유도지점으로 전이시켜 조위에 의한 한강하류부에서의 역방향 흐름을 RMA-2를 이용하여 계산하고 종횡방향 유속과 수위에 대하여 수치해석 결과의 검증 실시하였다. 이 흐름결과를 바탕으로 곡릉천에서 유입되는 BOD의 확산거동이 주변 생태계에 미치는 영향범위를 산정하였다.

* 정희원 · 서울대학교 건설환경공학부 · 교수

** 서울대학교 건설환경공학부 · 박사과정 · E-mail : bay680@snu.ac.kr

*** 서울대학교 건설환경공학부 · 박사후연구원

2. 수치모의

2.1 지형자료 구축 및 입력자료

모형의 적용구간은 백마섬을 포함한 신곡수중보 직하류부터 한강의 범적 하류단인 경기도 김포시 월곶면 유도까지 총 36.8 km에 이르는 구간으로 모식도를 그림 1에 나타내었다. 현재까지 한강하류부는 군사분계선이 위치하고 있는 접적지역의 특성상 곡릉천 합류부까지만 단면측량이 이루어졌기 때문에 이후 단면은 영종도에서 용매도 구간에 이르는 수치해도를 참고하여 13.7 km의 단면을 가정하여 그림 2와 같이 16,077개의 격자수와 5920개의 요소수를 가지는 지형격자를 구성하였다.

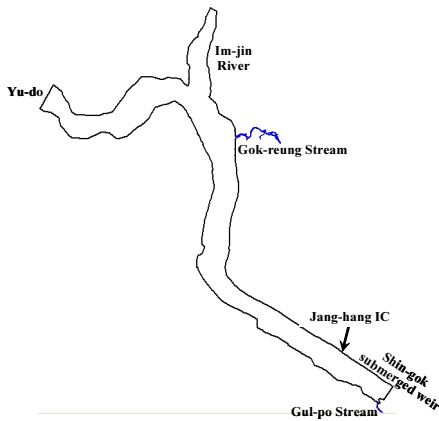


그림 1. 모형의 적용구간

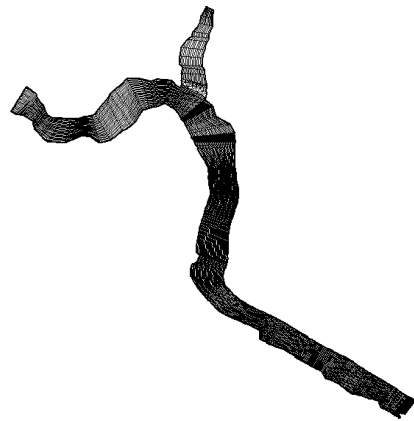


그림 2. 유한요소 격자망

2.2 입력자료

모의사상은 최근 2006년 자료 중 대상구간 내 수위관측소의 유량 및 수위자료가 양호하고 인천검조소의 조위기록자료 중 가능한 높은 조차가 발생하는 2006년 6월 23일~25일 관측치로 하였다. 한강 하구의 경우 조위관측소가 없으므로 2001년 해양수산부의 ‘한강·임진강 유역에 대한 조위영향 연구’를 바탕으로 인천검조소에서 조위자료를 조화분석하여 하류단 경계지점인 유도로 전이시켜 조위를 추산하였다. 모의구간의 조도계수는 해양수산부(2001)가 제시한 유량이 2,000 cms 미만일 때 신곡수중보~월곶 구간 값인 0.025를 적용하였다. 한편 조위에 의한 한강 하류부에서의 확산거동 해석을 위해 모의구간 내에 수질측정망이 설치되어 있는 굴포천과 곡릉천 합류부에서 2006년 6월에 관측된 조건을 입력하여 RAM4 모의를 실시하였다. 이 경우 지천유량은 하천정비기본계획에 제시된 년 평균유량을 이용하였다. 이상의 모의조건들을 정리하여 아래 그림 3~4에 수록하였다.

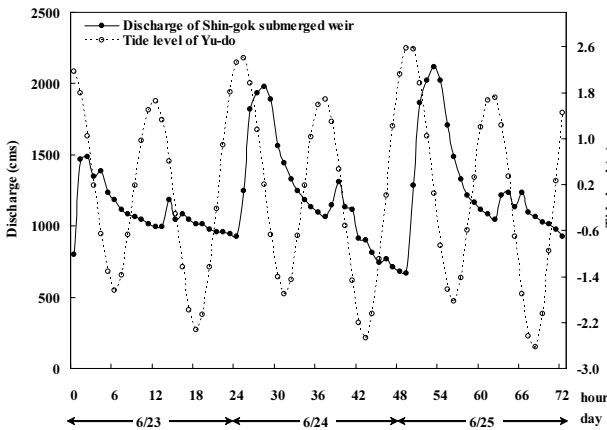


그림 3. 상하류단 경계조건

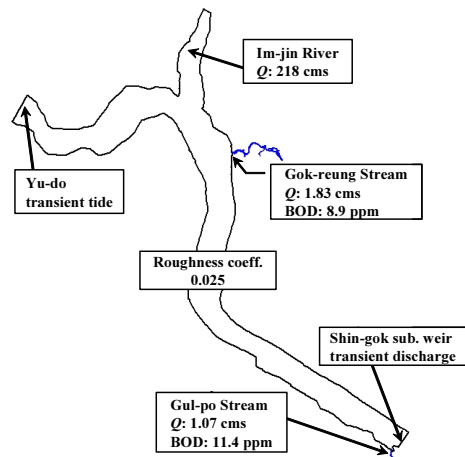


그림 4. 수치모의 조건

3. 수치모의 결과

3.1 서해안 조위에 의한 흐름 해석

조위에 따른 상류 방향으로의 흐름을 세부적으로 모의하기 위해 시간 간격을 15분으로 하여 RMA-2를 모의한 결과 총 5차례의 반대방향 흐름이 관찰되었다. 이는 그림 3의 유도지점의 조위조건을 나타내는 정현파 곡선이 5회의 국부최고치(local maxima)를 가지는 것과 밀접한 관련이 있다. 변곡점인 국부최저치(local minima)를 지나 국부최고치로 향해 가는 중간지점의 시간부터 역방향 흐름이 유도지점에서 생기게 되고 이 반대방향 흐름이 상류로 계속 전파되어 국부최고치를 지나 다시 국부최저치로 내려가는 직선의 중간지점의 시간까지 신곡수중보 방향으로 치고 올라가는 유속을 볼 수 있었다. 최대 역류현상은 모의시점으로부터 49.5 시간이 지난 후 발생하였으며 그림 5와 같이 하류단인 유도지점으로부터 장항 IC까지 총 32.9 km의 반대방향 흐름이 있었다. 그림 3에서 $t = 49$ 시간일 때 신곡수중보에서 모의 기간 중 최소유량이 유입되는 반면 유도지점에서의 조위는 최대가 되기 때문에 이런 현상이 발생되었다.

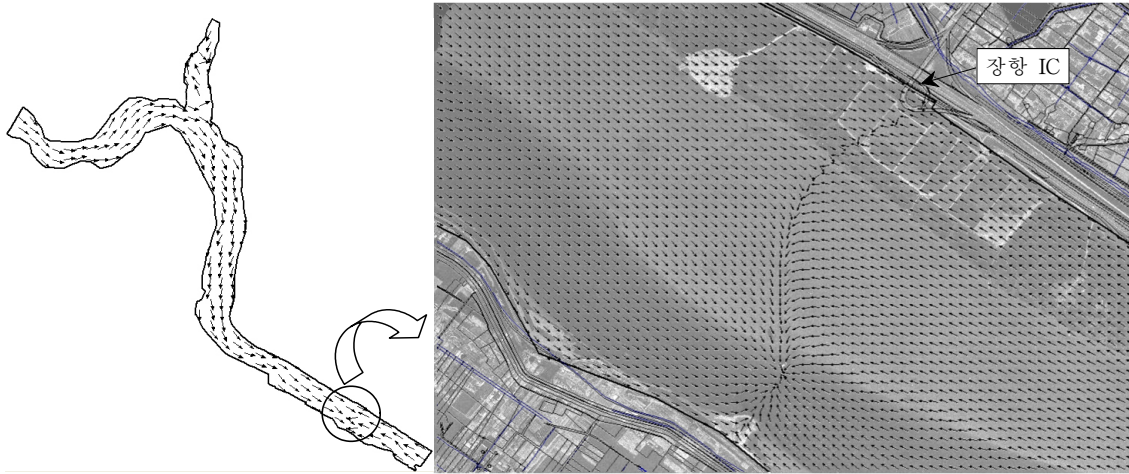


그림 5. 최대 역방향 흐름 (t=49.5 hr)

3.2 수위 및 유속결과의 검증

한강 하류부에서 발생하는 서해안 조위에 의한 순방향 및 역방향 흐름의 RMA-2 해석 결과를 전류지점에서의 수위 및 유속 실측자료와 비교하여 모형의 검증을 실시하였다. 한강홍수통제소에서 실시간으로 제공하고 있는 전류지점 수위자료 중 2007년 7월 22일~24일 동안의 관측 자료를 이용하여 수위를 비교한 결과를 그림 6에 수록하였다. 유속의 검증은 국립해양조사원에서 2005년에 실측한 자료 중 12월 7일의 측정자료를 사용하였다 (그림 7).

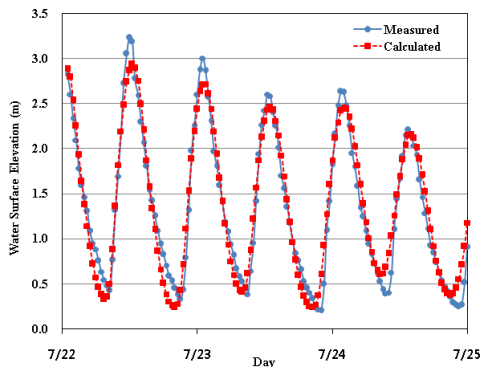


그림 6. 전류지점에서의 수위 비교

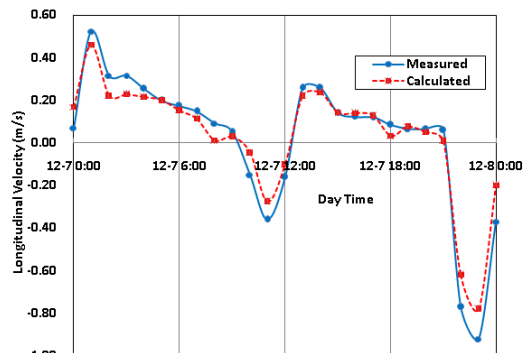


그림 7. 전류지점에서의 종방향 유속 비교

3.3 조위에 의한 확산

곡릉천에서 연속주입의 형태로 유입된 오염물질의 확산양상을 RAM4로 분석한 결과 조위에 의한 역방향 흐름에 의해 총 5회 상류측으로의 확산을 관찰할 수 있었다. 특히 $t = 51.25$ hr에서는 유도지점의 최대 조위(그림 3의 $t = 51$ hr)에 의해 오염물이 그림 8과 같이 파주시 교하면 산남리까지 상류방향으로 가장 멀리 퍼졌다. 국립환경연구원(2005)의 ‘하구역 생태계 정밀조사 보고서’에 따르면 이 구간은 그림 9와 같이 멸종위기종 2급인 큰기러기, 개리, 황조롱이 및 삿 등이 번출하는 지역이므로 곡릉천에서 다량의 독극물질이 한강 본류로 유입된다면 조석에 의한 오염물질의 역방향 흐름이 생태계 서식환경에 매우 큰 영향을 미치게 될 것임을 알 수 있다.

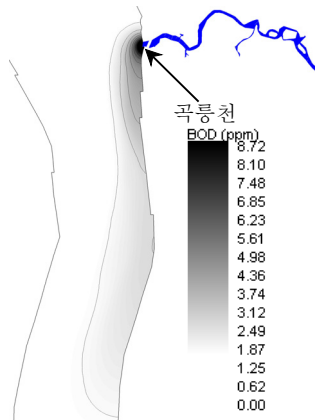


그림 8. 역흐름에 의한 상류로의 오염확산

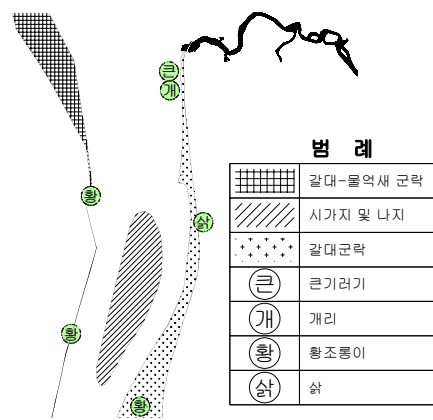


그림 9. 곡릉천 일대의 생태계

4. 요약 및 결론

서해안의 큰 조위차에 의한 한강 하구부에서의 흐름 및 확산거동 모의를 위해 신곡수중보로부터 월곶면 유도지점까지 총 36.8 km에 이르는 구간을 선정하여 RMA-2 및 RAM4 모형을 적용하였다. 조위곡선이 변곡점인 국부최저치를 지나 국부최고치로 향해 가는 중간지점의 시간부터 역방향 흐름이 유도지점에서 생기게 되고 이 반대방향 흐름이 상류로 계속 전파되어 최대 32.9 km인 장항 IC까지 전달되었다. 전류지점에서의 수위 및 횡방향 유속 실측자료와 흐름 수치모의 결과를 비교하여 모형을 검증하였다. 곡릉천에서 연속주입의 형태로 유입된 오염물질의 확산양상을 RAM4로 분석한 결과 조위에 의해 모의기간 동안 총 5회 상류측으로의 확산을 관찰할 수 있었다. 이를 바탕으로 곡릉천으로부터 다량의 오염물질이 한강 본류로 유입된다면 곡릉천 일대의 멸종위기 생태계에 악영향을 미칠 수 있다는 결론을 내렸다.

감사의 글

본 연구는 교육인적자원부 BK21사업(서울대학교 사회기반건설 사업단)과 과학기술부 특정기초 연구비 지원(과제번호: R01-2006-000-11027-0; 과제명: 연안수질환경 개선을 위한 하천-해양 통합 해석기술 개발)으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 국립환경연구원(2005). 하구역 생태계 정밀조사 보고서.
2. 김상호, 김원, 최홍식(2003). 한강 및 임진강의 조위영향 분석, **한국수자원학회 논문집**, 제36권 제2호, pp. 301~311.
3. 김승용(2002). 조위영향에 따른 신곡수중보 상·하류의 유동특성 분석, 석사학위논문, 경기대학교.
4. 유재홍, 김형준, 남궁돈, 조용식(2005). 2차원 수치모형을 이용한 한강의 조위영향 분석, **대한토목학회 정기학술발표회 논문집**, pp. 1867~1871.
5. 해양수산부(2001). **한강·임진강 유역에 대한 조위영향 연구**.