

RAMS를 이용한 한강 감조구간에서의 염도 분포 해석

Analysis of Salinity Distribution at the tidal reach of Han River Using RAMS

서일원*, 송창근**, 박성원***

Il Won Seo, Chang Geun Song, Sung Won Park

요 지

서해안은 최대 조석 차 9 m 이상의 세계적으로 손꼽히는 반일조 지역이므로 염수가 신곡수중보까지 치고 올라오는 것으로 알려져 있으나 한강 하구부에서의 흐름 및 염도분포 해석에 관한 연구는 지형적·군사적 특성 상 많이 진행되지 못했다. 본 연구에서는 2차원 하천해석 프로그램인 RAMS를 적용하여 신곡수중보 하류로부터 유도지점까지의 염도 분포 및 염수 길이를 해석하고 경험식을 이용해 수치모의 결과를 검증하였다. 염수가 최상류까지 치고 올라갈 수 있는 조건으로 최대조위와 최소유량을 가지는 시점을 택해 염도분포 농도를 계산하였으며 하류단인 유도지점의 염도를 인천검조소 실측값으로부터 전이하기 위해 이송분산방정식의 연속주입 해석해를 이용하였다. 염도분포의 최선단부는 장항 IC 부근으로 최대 역류 발생 위치와 같은 지점이었으며 정상염수 썰기 경험식에 의해 염수의 길이를 해석한 결과와도 일치하였다.

핵심용어: 한강 하구부, 염도분포, RAMS, 정상염수썰기

1. 서 론

국내 서·남해안 하구역의 대부분은 하구둑 건설과 간척으로 인하여 기수역으로서의 특징을 잃어버린 반면 한강 하구역은 국내 4대강 가운데 유일하게 하구둑이 건설되지 않아 조수의 출입이 자유롭고 민간인의 접근이 통제되어 자연적인 하천지형과 기수역 생태계가 잘 보전된 곳이다. 그러나 한강 하류부는 팔당댐 방류수, 임진강을 비롯한 여러 지류의 유입, 교량 및 수중보와 같은 인위적 구조물 등에 의해 그 흐름이 매우 복잡한 양상을 나타내고 있다. 서해안의 최대 조석 차는 9 m 이상으로 세계적으로 손꼽히는 반일조(semidiurnal tide) 지역이며 이로 인해 염수가 신곡수중보까지 치고 올라가는 것으로 알려져 있다 (신영규와 윤광성, 2005). 하구역에 서식하는 생물이나 식생군락은 광염성이나 염생성에 민감하게 반응하므로 서해안의 조석차에 의해 발생하는 한강 하구부에서의 염도분포는 습지생태계에 지배적인 인자로 작용한다. 이와 같은 이유로 한강 하구부에서의 흐름 및 염도분포 해석에 관한 연구는 매우 중요하나 군사분계선이 위치하고 있는 지형적 특성 상 민간인의 출입이 통제되어 그 동안 많은 연구가 진행되지 못했다.

본 연구의 내용은 송창근 등(2007)의 ‘한강하류부에서의 조석에 의한 역류 및 확산’의 연장선 상에 있는 것으로 서일원(2008)이 개발한 2차원 하천해석 프로그램인 RAMS를 적용하여 한강하구부에서의 염도 분포 및 염수 길이를 해석하고 경험식을 이용해 수치모의 결과를 검증하는 것을

* 정희원 · 서울대학교 건설환경공학부 교수 · E-mail: seoilwon@snu.ac.kr

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

*** 서울대학교 건설환경공학부 석사 후 연구원 · E-mail: billy@snu.ac.kr

목표로 한다.

2. 수치모의

2.1 지형자료 구축

염도 해석을 위한 RAMS 모형의 적용구간은 신곡수중보 하류 400 m지점으로부터 한강의 범적 하류단인 경기도 김포시 월곶면 유도까지 약 36 km에 이르는 영역을 선정하였다. 현재까지 한강하류부는 군사분계선이 위치하고 있는 접적지역의 특성상 곡릉천 합류부까지만 단면측량이 이루어졌기 때문에 이후 단면은 영종도에서 용매도 구간에 이르는 수치해도를 참고하여 13.7 km의 단면을 제작하여 그림 1과 같이 320개의 격자와 266개의 직사각형 요소를 가지는 지형격자를 구성하였다. 그림 2에는 RAMS GUI를 이용해 해당 모의구간의 3차원 하상도를 나타내었다. 최심고가 하천의 중심을 따라 발달되어 있고 임진강의 좌안측 하상고가 상대적으로 높음을 확인할 수 있다.

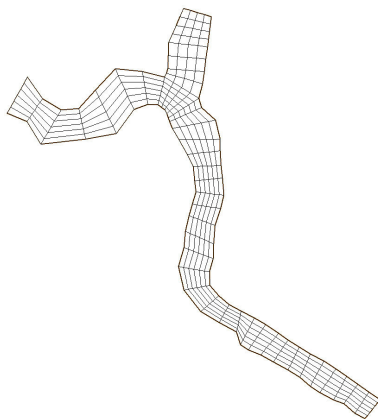


그림 1. 유한요소 격자망

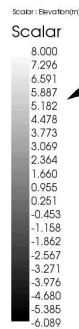


그림 2. 3차원 지형 뷰 (z scale ratio: 30)

2.2 경계조건 및 염도분포 해석

송창근 등(2007)은 그림 3의 모의기간(2006년 6월 23일~25일) 동안 총 5회 반대방향의 흐름이 발생함을 밝혔다. 최대 역류현상은 모의시점으로부터 49.5시간이 지난 후 발생하였으며 그림 4와 같이 하류단인 유도지점으로부터 장항 IC까지 총 32.9 km의 반대방향 흐름이 있었다. 그림 3에서 $t=49$ 시간일 때 신곡수중보에 모의 기간 중 최소유량이 유입되는 반면 유도지점에서의 조위는 최대가 되기 때문이었다. 본 연구에서는 이 점에 착안하여 염수가 최상류까지 치고 올라갈 수 있는 조건으로 최대조위와 최소유량을 가지는 시점을 택해 역으로 유도지점에 유량을, 신곡수중보지점에 수위를 할당하여 염도분포 농도를 계산하였다. RAMS를 이용한 수심 및 유속장은 그림 5, 6과 같으며 모의구간의 평균 수심은 9 m, 평균 유속은 0.2 m/s 정도의 값을 가짐을 확인할 수 있다. 임진강 좌안부분의 하상고가 높아서 수심이 비교적 낮았으며 첫 번째 만곡이 시작되는 부분을 기점으로 수심이 깊어져 이 후 구간의 유속이 비교적 느림을 알 수 있다. RAMS는 수평 2차원 유한요소모형이므로 염도의 연직방향 분포는 일정하다는 가정이 전제되어 있다.

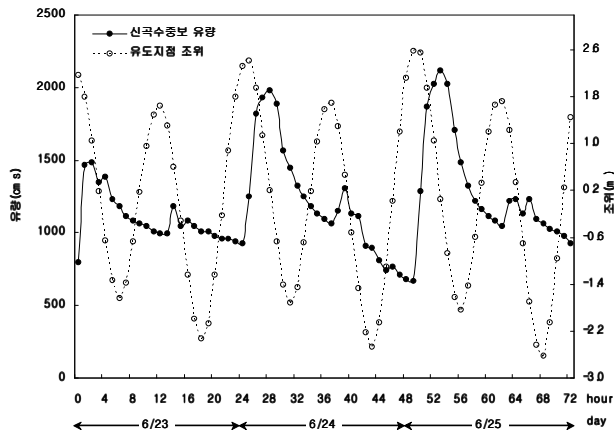


그림 3. 상하류단 경계조건

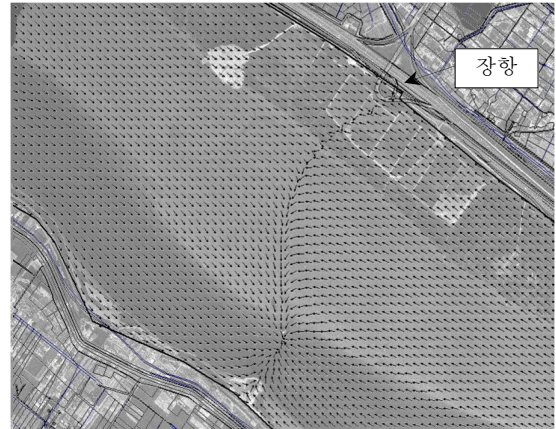


그림 4. 최대 역방향 흐름 (t=49.5 hr)

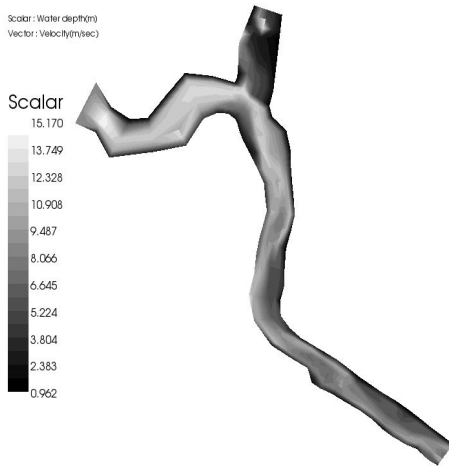


그림 5. 수심분포도

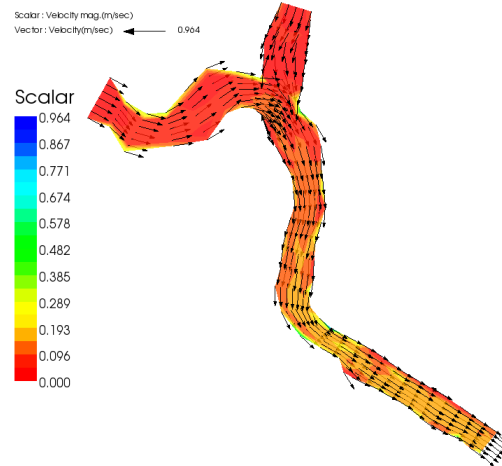


그림 6. 유속분포도

하류단인 유도지점의 염도를 인천검조소 실측값으로부터 전이하기 위해 다음의 방법을 사용하였다. 모의기간(2006년 6월 23일~25일) 동안 인천검조소의 평균 수온과 염도값은 해양수질자동측정망에 의해 24 °C와 27 PSU로 관측되었다. 인천검조소와 유도지점과의 거리는 39.1 km로 매우 멀리 떨어져 있으므로 1차원 이송분산방정식의 연속주입 해석해는 다음과 같이 간단하게 표현된다.

$$C(x,t) = \frac{C_0}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{x-tu}{\sqrt{4Dt}} \right)$$

하구의 분산계수는 바람이나 조류의 영향으로 확산이 활발하게 진행되어 하천에 비해 상대적으로 큰 30~300 m²/s 정도의 범위를 가지므로 (서일원 등, 2006) 분산계수를 D=100 m²/s로 적용하였다. 평균유속을 위에서 언급한 바와 같이 u=0.2 m/s로 하면 유도지점에서의 염도는 11.1 PSU로 계산된다. 그림 5, 6에서 얻어진 유속장에 의해 유도지점에 11.1 PSU의 염도가 유입되는 경우 정상 염도 확산 분포는 그림 8과 같다. 염도분포의 최선단부는 장항 IC 부근으로 이는 송창근 등(2007)에 의해 확인된 최대 역류 발생 양상 (그림 7)과 같은 지점이었다.

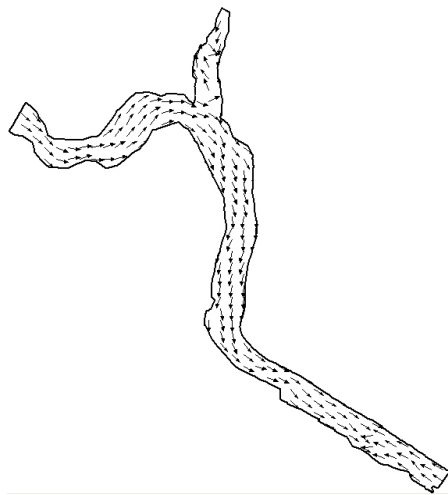


그림 7. 최대 역방향 흐름

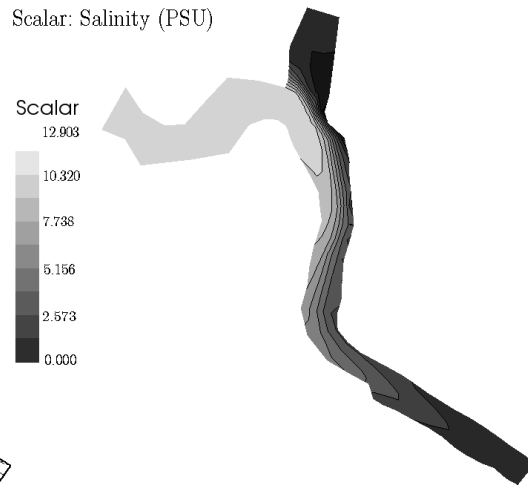


그림 8. 정상 염도분포

해수밀도는 수온과 염도의 함수로 σ_t 법을 이용해 구할 수 있으며 모의영역의 평균유속과 수심은 그림 5와 6에서 읽을 수 있다. 밀도유속(densimetric velocity)은 해수와 담수의 밀도차($\Delta\rho$)와 평균밀도(ρ_m)를 이용해 계산하면 $V_\Delta = \sqrt{(\Delta\rho/\rho_m)gH} = 1.17 \text{ m/s}$ 이 된다. 이상의 염수 길이를 경험식에 의해 산정하는데 필요한 값들을 표 1에 정리하였다.

표 1. 염수길이 산정에 사용된 변수

항목	값	항목	값
수온	24 °C	밀도유속(V_Δ)	1.17 m/s
염도	27 PSU	하천평균유속(V_r)	0.2 m/s
해수밀도	1017.62 kg/m ³	평균수심(H)	9 m
동점성계수(ν)	$9.15 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$		

위의 조건에서 레이놀즈 수는 $Re = V_\Delta H/\nu = 1.02 \times 10^7$ 이므로 10^7 을 초과하게 되며 이 경우 다음의 관계식으로부터 염수길이를 산정할 수 있다 (Ippen, 1966).

$$L = 6H \left(\frac{V_\Delta H}{\nu} \right)^{1/4} \left(\frac{2V_r}{V_\Delta} \right)^{-5/2} \approx 71,540 \text{ m}$$

이 길이는 인천검조소로부터의 거리이므로 본 연구의 모의구간을 고려하여 하류단인 유도지점을 기준으로 계산하면 유도지점으로부터 약 32.6 km까지 상류방향으로 염도분포가 존재함을 알 수 있다. 이 거리는 위의 그림 7과 8에서 나타난 장항 IC 지점으로 RAMS에 의한 수치모의 결과와 일치하였다.

3. 요약 및 결론

본 연구에서는 신곡수중보부터 임진강을 포함한 유도지점까지 총 36 km에 이르는 구간에 2차원 유한요소 하천해석모형인 RAMS를 적용하여 한강하구부에서의 염도 분포 및 염수 길이를 해석하고 경험식을 이용해 수치모의 결과를 검증하였다. 염수가 최상류까지 치고 올라갈 수 있는 조건으로 최대조위와 최소유량을 가지는 시점을 택해 염도분포 농도를 계산하였으며 하류단인 유도지점의 염도를 인천검조소 실측값으로부터 전이하기 위해 이송분산방정식의 연속주입 해석해를 이용하였다. 염도분포의 최선단부는 장항 IC 부근으로 최대 역류 발생 위치와 같은 지점이었으며 정상염수췌기 경험식에 의해 염수의 길이를 해석한 결과와도 일치하였다. 본 연구는 특정 기간(2006년 6월 23일~25일)의 유량 및 조위조건에 국한하여 모의의 일반성이 결여되어 있지만 한강하구부와 같이 군사분계선이 위치하고 있는 지형적 특성상 염도나 유속 등과 같은 기본 입력자료의 취득이 어려운 경우에 염도분포 해석 및 염수 길이 산정에 이용할 수 있는 방법을 제시하였다.

감 사 의 글

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

참 고 문 헌

1. 서일원, 송창근, 이명은(2006). 하구계수에 따른 반응성 오염물질의 확산 특성, 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 1950-1953.
2. 서일원(2008). RAMS 적용 3단계 1차년도 요약보고서, 수자원의 지속적 확보기술개발사업.
3. 송창근, 서일원, 이명은(2007). 한강하류부에서의 조석에 의한 역류 및 확산, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 418-422.
4. 신영규, 윤광성(2005). 한강하구역의 수질 및 퇴적물 특성의 공간적 분포, 한국지형학회지, 제12권 제4호, pp. 13-23.
5. Ippen, A. T.(1966). Estuary and Coastline Hydrodynamics, McGRAW-HILL.