

수로의 복원으로 인한 동빈내항에서의 오염확산 양상의 해석

Analysis of pollutant dispersion mechanism by restored canal at Dongbin harnor

박성수* · 조용식**

Seong Soo Park · Yong-Sik Cho

Abstract

The water quality at the Dongbin Harbor at Pohang city, is getting worse due to the sewage and the wastewater from communities. In this syudy, RMA2 and RMA4, which is two-dimensional depth-averaged finite element numerical model, were employed to simulate the improvement of water quality from inflowing water through an inland canal to be planned connecting Dongbin Harbor and the Hyeongsan River. For the comparative result of the numerical model, both the present condition and the restoration condition (after construction of an inland canal) is simulated. The results of these conditions reasonably simulate a real situation at the Dongbin Harbor. After construction of an inland canal, the water quality at the Dongbin Harbor will be compared to the fresh water quality of the Hyeongsan River at the steady state. Futhermore, The result of simulation will be used to decide the most effective dimension of the canal.

Key words : RMA2, RMA4, Finite element method, Dongbin Harbor

1. 서 론

포항시에 위치한 동빈내항은 형산강 물이 영일만과 만나는 큰 물줄기 중의 하나로서 작은 도심을 관통하는 하류였으나 포항제철소의 건설과 함께 형산강의 물줄기가 바뀌면서 좀 더 깊숙한 만으로 변모되었다. 주변은 조차가 적고 해수의 흐름이 미약한 영일만에 인접해 있으며, 인근지역엔 재래시장인 죽도시장과 포항구항을 비롯한 대규모 산업단지가 조성되어 있다.

이러한 주변 환경 속에 포항시의 도시화에 따른 불투수층이 증가하고 하수도 시설의 미정비와 더불어 동빈내항 관련 수계인 양학천, 송림천, 칠성천등의 소하천에서의 오수 및 우수 발생량으로 인해 동빈내항의 오염이 심화되고 있다. 특히, 비강우시에는 발생하수량의 대부분이 포항하수처리장으로 유입되어 처리되고 있으나, 강우시에는 시가지에서 배출되는 점오염원과 토지계에서 배출되는 비점오염원이 그대로 방출되어 동빈내항의 오염이 극심해 진다.

앞에서 본 바와 같이, 각종 산업폐수와 생활하수 및 비점오염원의 유출과 정제되어 있는 동빈내항의 해수 흐름은 항내 오염물질의 절대량을 증가시켜 수질오염을 더욱 심화시키고 있다. 포항시에서는 동빈내항의 수질 개선을 위해 매년 준설작업을 실시하고 있지만, 근본적인 수질 개선이 어려운 실정이다. 본 연구에서는 동빈내항의 수질오염개선의 대안으로서 송림천의 복원을 통한 내륙수로를 설계하여 오염물의 거동을 RMA4로 수치모의 하였다. 내륙수로는 형산강과 동빈내항을 연결하고 있으며, 수로를 통해 흐르는 형산강의 유수가 동빈내항의 수질오염을 개선할 것이라 기대하고 있다. 복원 전 지형과 복원 후 지형에서의 수치모의를 각각 실시하여 저감효과를 비교분석하였다.

* 한양대학교 토목공학과 · 석사과정 · E-mail : reibun@hanyang.ac.kr

** 정회원 · 한양대학교 토목공학과 · 교수 · 교신저자 · E-mail : ysc59@hanyang.ac.kr

2. 모형의 기본이론

먼저, RMA2를 사용하여 각 절점에서의 유속 및 수위성분을 결정한 후, RMA4를 통해 오염물 이송확산을 모의하였다.

2.1 RMA-2모형

RMA2는 2차원 수심 평균한 유한요소 수리동역학적 수치모델(WES, 1996; King, 1997)로서 상류(sub-critical) 및 자유수면 흐름의 수위와 수평 방향의 2차원 유속 성분을 계산한다. 마찰력은 Manning 방정식의 조도계수나 Chezy 방정식의 평균유속계수로 계산되며, 정상류 뿐만 아니라 부정류에서도 모의 가능하다. 모형의 지배방정식은 Navier-Stokes 방정식과 연속방정식을 수심 적분한 2차원 천수방정식으로 다음과 같다.

○ 연속방정식

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}\right) + u\frac{\partial h}{\partial x} + v\frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

○ 운동량방정식

$$\begin{aligned} h\frac{\partial u}{\partial t} + hu\frac{\partial u}{\partial x} + hv\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho}(E_{xx}\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy}\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}) + gh\left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{gun^2}{C^2} + (u^2 + v^2)^{1/2} \\ - \zeta V_a^2 \cos\psi + 2h\omega v \sin\phi = 0 \\ h\frac{\partial v}{\partial t} + hu\frac{\partial v}{\partial x} + hv\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho}(E_{yx}\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy}\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}) + gh\left(\frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y}\right) + \frac{gvn^2}{C^2} + (u^2 + v^2)^{1/2} \\ - \zeta V_a^2 \sin\psi + 2h\omega u \sin\phi = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,

x, y, t	= 흐름 좌표와 시간	u, v	= x, y 방향의 수심평균유속
ρ	= 유체의 밀도	g	= 중력가속도
h	= 수심	a	= 하상표고
E	= 확산계수	n	= Manning 조도계수
C	= Chezy 계수	V_a	= 풍속

2.2 RMA-4모형

수심방향의 농도 분포는 일정하다고 가정하는 유한요소의 이송 확산방정식은 다음과 같다.

$$h\left(\frac{\partial c}{\partial t} + u\frac{\partial c}{\partial x} + v\frac{\partial c}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x}D_x\frac{\partial c}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y}D_y\frac{\partial c}{\partial y} - \sigma + kc + \frac{R(c)}{h}\right) = 0$$

여기서,

h	= 수심	c	= 주어진 성분의 오염농도
t	= 시간	u, v	= x, y 방향의 속도
D_x, D_y	= turbulent 혼합계수	k	= 일차 저감계수
σ	= 성분의 source/sink	$R(c)$	= 강우 및 증발 속도

3. 모형의 적용

3.1 계산영역의 수립

본 과업의 대상구역은 포항시 동빈내항으로 지리적으로 영일만과 형산강의 영향을 받고 있다. 따라서, 모형의 적용구간은 형산강에 위치한 신형산교에서부터 영일만 근해에 이르는 구간으로 모식도는 그림1과 같다. 형산강과 영일만의 단면자료는 1/15,000의 수치해도를 참고하였으며, 동빈내항의 단면자료는 직접 측정한 수심자료를 이용하여 구성하였다. 수치모의에 사용된 유한요소의 절점개수는 19,481개이며 요소개수는 7,112로 구성하였다. 복원될 내륙수로는 형산강에서 동빈내항 끝부분의 죽도펌프장까지 약 1.3km의 길이이며 하폭은

20m, 하상경사는 1:1로 설계하였다.

3.2 RMA2 모형을 이용한 수리특성 분석



그림 1. 분석 대상영역

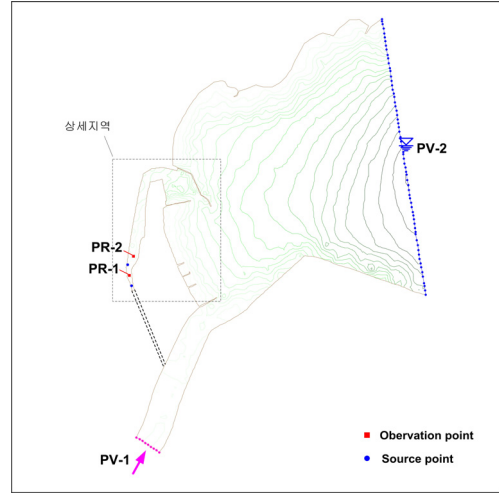


그림 2. 대상지역 경계조건 및 관찰지점

형산강의 조도계수는 하상재료 또는 지형조건을 고려하여 Manning에 의해 제안되는 것으로 「형산강.연화천.마병천 하천정비기본계획」에서 조사된 0.030을 이용하였으며, 영일만은 조도계수의 영향이 거의 없기 때문에 같은 값으로 입력하였다. 그림 2는 RMA2 모델을 위한 경계조건을 나타낸 것으로, P1지점에서는 형산강 연평균유량인 17.3CMS를 상류경계조건으로 사용하였으며, P2지점은 영일만 조위관측소에서 얻은 4대분조(M2, S2, K1, O1)의 값을 이용한 주변해역에서의 해수면 높이를 경계조건으로 입력하였다.

3.3 RMA4 모형을 이용한 수리특성 분석

오염농도 변화예측을 위한 RMA4 모델은 RMA2 모델에서 구한 유속 및 수위데이터를 입력자료로 사용하여 구성하였다. 동빈내항과 형산강에서 관측된 COD농도를 근거로 대상지역의 오염물질 거동특성을 재현하였으며, 오염물 유입지점은 동빈내항 주요오염원인 양학천수문과 칠성천수문으로 각각은 그림 2에서의 Source point 지점과 같다. 수치모의에서 복원 전의 지형과 복원 후 지형에서의 오염물 유입 경계조건은 같으며, 수로를 통해 흐르는 형산강의 유수로 인한 동빈내항의 COD 농도 변화를 검토하였다.

3.4 오염물질 거동양상

표 1. Case별 복원 전·후의 COD 농도변화

분 류	측정 날짜	복원 전 COD농도 (ppm)		형산강 COD농도 (ppm)	복원 후 개선된 COD 농도 (ppm)	
		PR.1	PR.2		PR.1	PR.2
Case 1	2005년 3월 16일	3.0	2.2	1.8	1.93	1.89
Case 2	2007년 11월 30일	3.4	3.2	2.4	2.49	2.47

그림 3~6 은 Case 1인 경우의 상세지역 구간에서의 오염농도 변화를 나타낸 것이다. 그림 3은 복원 전의 정상상태의 오염분포를 나타낸 것이며, 복원 후의 시간에 따른 오염분포도에서 3일 후에 PR-1에서의 수질오염 개선효과를 볼 수 있었으며, 약 70일 후에는 형산강 흐름이 동빈내항의 가장자리 부분까지 퍼져나가

는 모습을 볼 수 있다. 표 1에서는 정상상태에서 각각의 지점에서의 복원 전과 후의 COD 농도결과를 나타내었다.

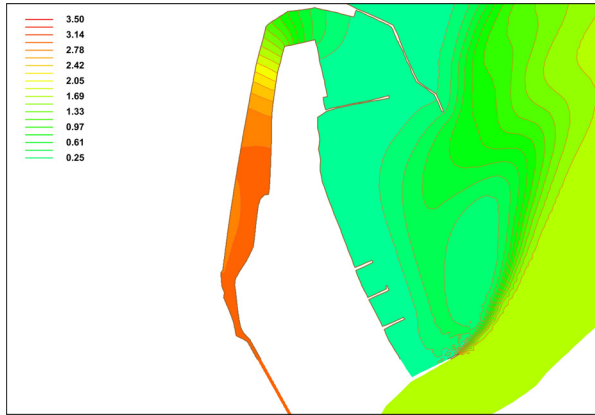


그림 3. 시간에 따른 오염분포양상 (복원 전)

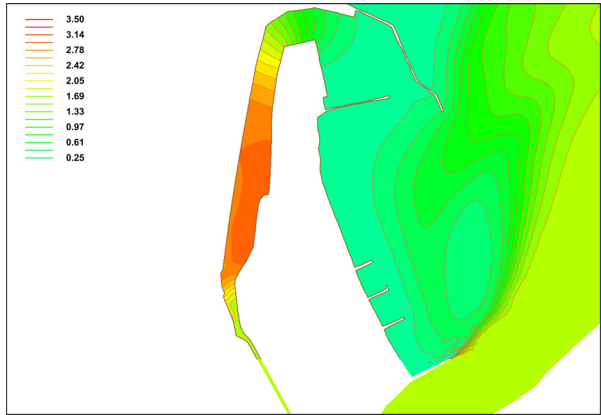


그림 4. 시간에 따른 오염분포양상 (3일 후)

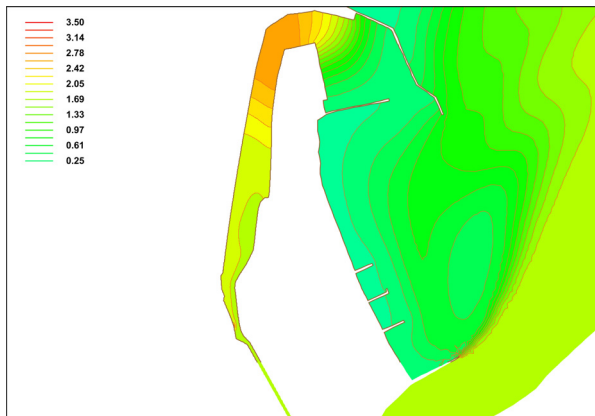


그림 5. 시간에 따른 오염분포양상 (30일 후)

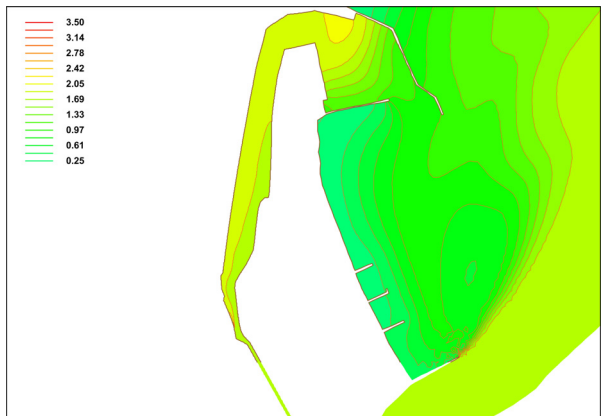


그림 6. 시간에 따른 오염분포양상 (70일 후)

4. 결 론

본 연구에서는 동빈내항의 오염된 수질이 송림천의 복원을 통해 수질개선이 되는 양상을 RMA4로 수치 모의 하였다. RMA4 모형은 RMA2모형의 출력치를 기본자료로 사용하였으며 복원된 수로를 통해 동빈내항의 수질이 형산강의 농도와 비슷하게 수렴되어 수질개선이 이뤄지는 것을 알 수 있었다. 또한, 본 연구과정을 이용하여 수질개선에 적절한 수로의 설계가 이뤄질 수 있겠다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부 해양한국발전프로그램에 의해 재정적 지원을 받았습니다.

참고문헌

1. 양학천(동빈내항) 자연형 하천 정화사업 타당성 조사 용역 보고서, 포항시. 2007.1
2. 형산강.연화천.마병천 하천정비기본계획, 건설교통부. 2002.2
3. 김정민, 박성천, 김동수, 문병석 2006, 영산강 중류부의 오염물질 이송특성 연구, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국 수자원학회, pp. 1646-1650.
4. 강주환, 임병선 1998, 방조제 건설로 인한 목포해역에서의 오염확산양상 변화, 대한토목학회 논문집, 제 18권 제2-6호, pp. 613-622