

RMA2 모형을 이용한 함평천 복원사업구간 흐름 해석

Flow Analysis of Restoration Area on the Hampyung Stream by Using RMA2 Model

이남주*, 이용진**, 여흥구***

Nam Joo Lee, Yong Chin Lee, Hong Koo Yeo

요 지

국가하천 함평천은 전라남도 함평군과 무안군 등 2개 군에 걸쳐 위치하고 있는 영산강의 제1지류로서 동측으로는 고막원천, 서측으로는 서해안, 북측으로는 영광군이 위치하고 있으며, 남측으로는 영산강 본류와 접하고 있다. 전라남도 함평군 함평읍, 엄다면, 학교면 사이에 위치한 함평 세계 나비·곤충 엑스포장 옆의 함평 2지구 하천환경정비사업 구간을 구하도 복원사업 구간으로 설정하였다. 이 연구는 함평 2지구 하천환경정비사업 구간에서 수리학적 영향을 검토할 목적으로 수행하였다. 평면 이차원 모형을 사용하여 흐름 변화를 분석하였다. 흐름 계산은 RMA2 모형을 사용하였으며, 유속과 수위의 평면적 변화를 분석하였다. 또한, 평면 이차원 모형 적용 결과를 통해 하도 폐색 가능성을 분석하였다. 하도의 사행화와 분리하도를 구성하여 다양한 유속 분포를 보였으며, 분리하도 구간은 $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 이상의 유량을 유지하고 있어 하도 폐색은 발생하지 않을 것으로 판단되었다. 퇴적 및 침식에 의한 하도의 직선화가 되지 않도록 적절한 재료의 선택하여야 할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 하천복원, RMA2 모형, 함평천, 수치해석

1. 서론

국가하천 함평천은 전라남도 함평군과 무안군 등 2개 군에 걸쳐 위치하고 있는 영산강의 제1지류로서 동측으로는 고막원천, 서측으로는 서해안, 북측으로는 영광군이 위치하고 있으며, 남측으로는 영산강 본류와 접하고 있다. 전라남도 함평군 함평읍, 엄다면, 학교면 사이에 위치한 함평 세계 나비·곤충 엑스포장 옆의 함평 2지구 하천환경정비사업 구간을 구하도 복원사업 구간으로 설정하였다.

이 연구는 함평 2지구 하천환경정비사업 구간에서 수리학적 영향을 검토할 목적으로 수행하였다. 평면 이차원 모형을 사용하여 하도 복원구간의 흐름 양상을 분석하였다. 흐름 계산은 RMA2 모형을 사용하였으며, 유속과 수위의 평면적 변화를 분석하였다. 또한, 평면 이차원 모형 적용 결과를 통해 하도 폐색 가능성을 분석하였다.

* 정희원 · 경성대학교 건설환경공학부 교수 · E-mail: njlee@ks.ac.kr

** 정희원 · (주)이산 사원 · E-mail: atc201co@hotmail.com

*** 정희원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 책임연구원 · E-mail: yeo917@kict.re.kr

2. RMA2 모형의 기본 이론

평면 이차원 흐름해석모형은 1980년대부터 본격적으로 개발이 시작되었고, RMA2 모형(US Army Corps of Engineers, 1996), FESWMS-2DH 모형(Froehlich, 1989), TELEMAC-2D 모형(Hirt and Nichols, 1981) 등 여러 가지 모형이 있다. FESWMS-2DH 모형은 사류를 모의할 수 있고, 수공구조물 주변의 국부적인 흐름에 적용성이 높지만 잠김/드러남을 모의 할 수 없는 단점이 있다. RMA2 모형은 하중도를 포함한 하천 수로구간의 흐름, 교각 부근의 흐름, 유수단면 확대 및 축소부를 포함한 하천구간의 흐름 등, 하천, 저수지, 하구의 수리동역학적 해석에 널리 사용되어 왔다. RMA2 모형은 다음과 같은 천수가정을 사용하여 3차원 Reynolds 방정식과 연속방정식을 수심적분한 천수방정식을 지배방정식으로 사용한다.

① 수직방향의 속도와 가속도는 무시한다.

② 하천바닥은 시간에 대해 변하지 않는다.

시간 적분된 연속방정식을 수심평균하면 식(2)의 연속방정식이 유도된다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) = 0 \quad (2)$$

3차원 Reynolds 방정식을 수심적분한 2차원 천수방정식은 식(3a) ~ 식(3b)와 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(\epsilon_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \epsilon_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) \\ + \frac{gun^2}{h^{1/3}} (u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta V_a^2 \cos \Psi - 2h\omega v \sin \phi = 0 \end{aligned} \quad (3a)$$

$$\begin{aligned} h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(\epsilon_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \epsilon_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right) \\ + \frac{gun^2}{h^{1/3}} (u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta V_a^2 \sin \Psi + 2h\omega v \sin \phi = 0 \end{aligned} \quad (3b)$$

여기서, x, y, t 는 평면직교좌표계와 시간, h 는 수심, u, v 는 직교좌표계에서의 유속, ρ 는 유체의 밀도, ϵ_{xx} 는 x 방향평면의 법선 와점성계수, ϵ_{yy} 는 y 방향평면의 법선 와점성계수, ϵ_{xy} 는 x 방향평면의 접선 와점성계수, ϵ_{yx} 는 y 방향평면의 접선 와점성계수, g 는 중력가속도, a 는 하상표고, n 는 Manning 계수, V_a 는 풍속, ζ 는 바람응력계수, Ψ 는 풍향, ω 는 지구자전각속도, ϕ 는 위도이다.

RMA2 모형의 지배방정식은 가중잔차 Galerkin 방법을 사용한 유한요소법으로 계산하고, 유한 요소는 1차원 또는 2차원 사각형, 삼각형이 될 수 있으며, 곡선이 한 변으로 사용될 수 있다. 형상 함수는 유속에 대해서 2차함수이며, 수심에 대해서는 1차함수이다. 공간에 대한 적분법은 Gaussian 적분법이 사용되었으며, 시간에 대한 미분은 비선형 유한 차분 근사법에 의해 계산된다. 수치기법은 완전음해법으로서, 각 시간 단계에서의 비선형 연립방정식을 Newton-Raphson 반복계산법을 사용하여 해를 구한다.

3. RMA2 모형의 적용

RMA2 모형의 함평천 적용구간 개요도와 유한요소망은 그림 1과 같다. 하류경계는 함평천의 No. 74 단면 직상류, 상류경계는 No. 40 단면인 대경보 지점의 직하류로 설정하였다. 평면 이차원 흐름 예측 수치모형의 적용 조건은 아래와 같다. 시범사업구간에 대해 RMA2 모형의 계산에 사용한 유한요소망은 6,057개의 유한요소와 16,826개의 절점으로 구성하였다(그림 1(b) 참조). 하상고

자료는 2006년 함평2지구 하천환경정비사업 실시설계보고서와 설계도를 사용하였으며, 하상고의 평면적 분포는 그림 2와 같다.

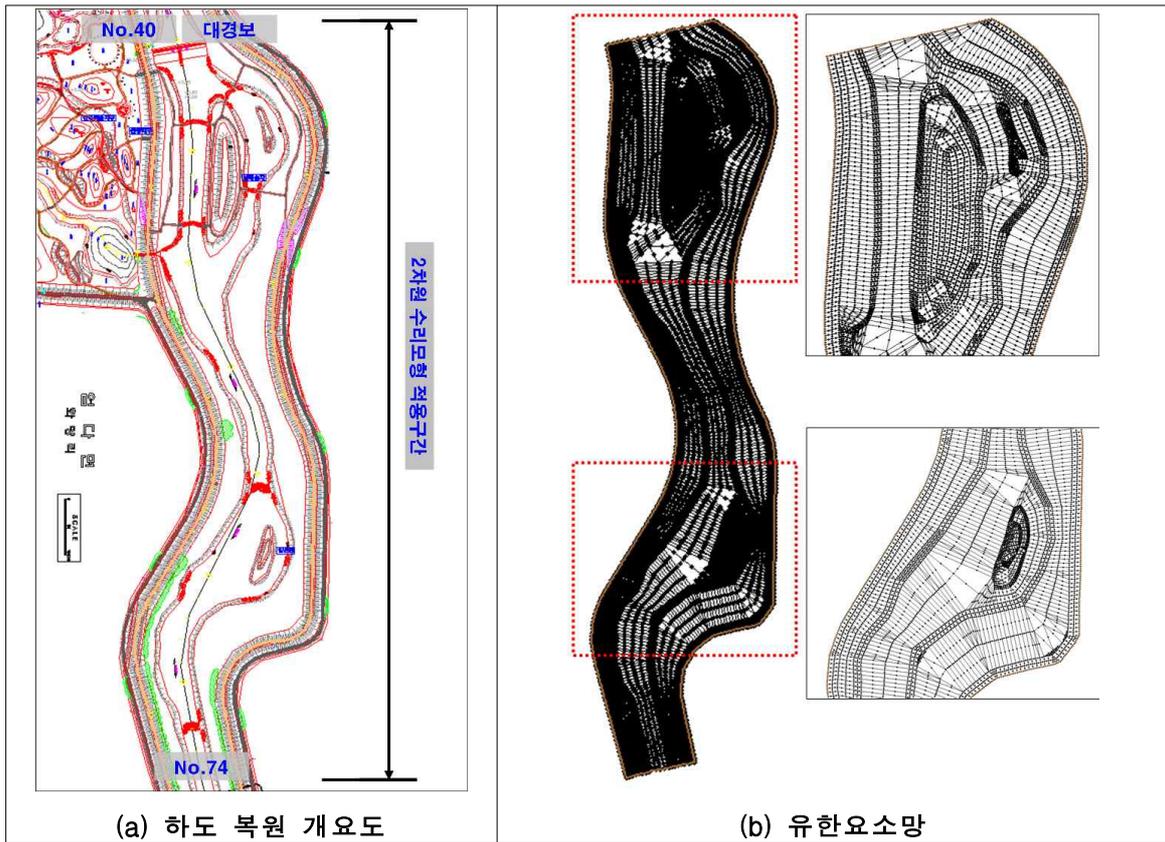


그림 2. 함평천 시범사업 개요도 및 유한요소망

정상류 흐름 모의를 위한 재현기간은 50, 80, 100, 150, 200년을 사용하였으며, 재현기간별로 경계조건을 정리하면 표 1과 같다. 난류교환 계수는 1,000, Manning 계수는 0.025, Peclet 수는 20을 사용하였으며, 정상류 수렴을 위한 반복계산 횟수는 25회로 설정하였다.

그림 3은 표 1의 수치모의 조건에 대한 재현기간별 흐름 예측결과를 도시한 것이다. 단면 확장 구간에서 저속의 순환흐름이 발생하는 것으로 예측되었으며, 복원 하도 유입부에 $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 이상의 흐름이 발생할 것으로 분석되었다. 또한 하도 폐색은 발생하지 않을 것으로 판단되었다.

그림 2에 표시된 주요 지점에 대하여 흐름장 분석을 수행하였다. 재현기간별 각 지점의 유속과 수위를 표 2에 정리하였다. 지점 A의 경우, 정체 수역으로 유속이 매우 작으며 재현기간에 따른 유속의 변화는 거의 나타나지 않았다. 지점 B의 경우, 분리구간으로 본 하도이며, $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 이상의 흐름을 유지하고 있다. 지점 C의 경우, 분리구간으로 본 하도 보다 유속이 약 20% 감소하는 것으로 나타나지만, $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 이상의 흐름을 유지하고 있는 것으로 예측되었다. 지점 D의 경우, 하도 폭이 축소되는 구간으로 유속이 증가하는 것으로 나타났다. 지점 E의 경우, 유속이 매우 작으며 재현기간에 따른 유속의 변화는 거의 나타나지 않는 것으로 예측되었다.

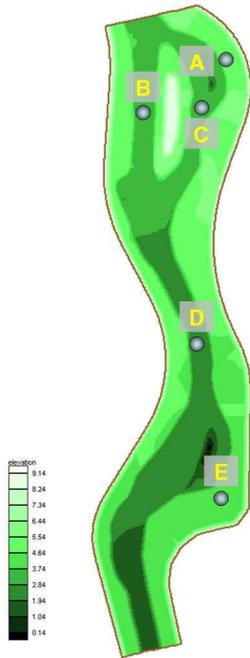


그림 3. 하상고

표 1. 정상류 수치모의 조건

재현기간 (yr)	함평천 상류경계	함평천 하류경계
	유량 (m ³ /s)	수위 (m)
50	740	6.91
80	810	7.17
100	840	7.29
150	890	7.49
200	930	7.64

(비고) 하류 수위 경계조건은 HEC-RAS 모의 결과를 사용

4. 결론 및 향후연구

이 연구는 함평 2지구 하천환경정비사업 구간에서 수리학적 영향을 검토할 목적으로 수행하였으며, 평면 이차원 모형을 사용하여 하도 복원구간의 흐름 양상을 분석하였다. 흐름 계산은 RMA2 모형을 사용하였으며, 유속과 수위의 평면적 변화를 분석하였다. 또한, 평면 이차원 모형 적용 결과를 통해 하도 폐색 가능성을 분석하였다.

시범사업 하도는 사행과 분리하도를 포함하고 있어서, 다양한 유속 분포를 보이는 것으로 예측되었다. 분리하도 구간은 1 m³/s 이상의 흐름을 유지하고 있어 하도 폐색은 발생하지 않을 것으로 판단되었다. 또한 퇴적 및 침식에 의한 하도의 직선화가 되지 않도록 적절한 재료의 선택하여야 하며, 사수역이 나타나는 지역에 대한 퇴적물 관리 방안이 수립되어야 할 것으로 판단된다.

하천 복원 기술 개발을 목표로 한 향후 연구로써, 현장 모니터링 또는 수리모형실험 등을 통한 매개변수 검보정이 필요하며, 하도안정 문제와 관련하여 현장 자료 분석을 통해 하상재료 물성치를 확보하고, 부유사 농도 모니터링 등을 통해 지형변화 모델링을 위한 기초자료 구축이 필요할 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 건설교통부 및 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(06 건설핵심B01)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. Froehlich, D. C. (1989). *Finite Element Surface-Water Modeling System: Two-Dimensional*

Flow in a Horizontal Plane Users Manual. Report No. FHWA-RD-88-177, Federal Highway Administration. U. S. Department of Transportation.

2. Hirt, C. W., and Nichols, B. D. (1981). *Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of free boundaries*. J. Comp. Phys. 39, 201.
3. US Army Corps of Engineers (1996). *Users Guide to RMA2 Version 4.3*. WexTech Systems, Inc.

표 2. 지점별 유속 및 수위

재현기간 (yr)		A	B	C	D	E
유속 (m/s)	50	0.17	1.79	1.41	2.62	0.38
	80	0.14	1.68	1.37	2.59	0.22
	100	0.17	1.70	1.35	2.58	0.23
	150	0.09	1.65	1.24	2.54	0.27
	200	0.10	1.64	1.25	2.53	0.28
수위 (m)	50	7.469	7.449	7.442	7.064	7.210
	80	7.642	7.654	7.624	7.581	7.449
	100	7.760	7.753	7.740	7.399	7.571
	150	7.924	7.927	7.915	7.594	7.770
	200	8.062	8.066	8.053	7.740	7.919

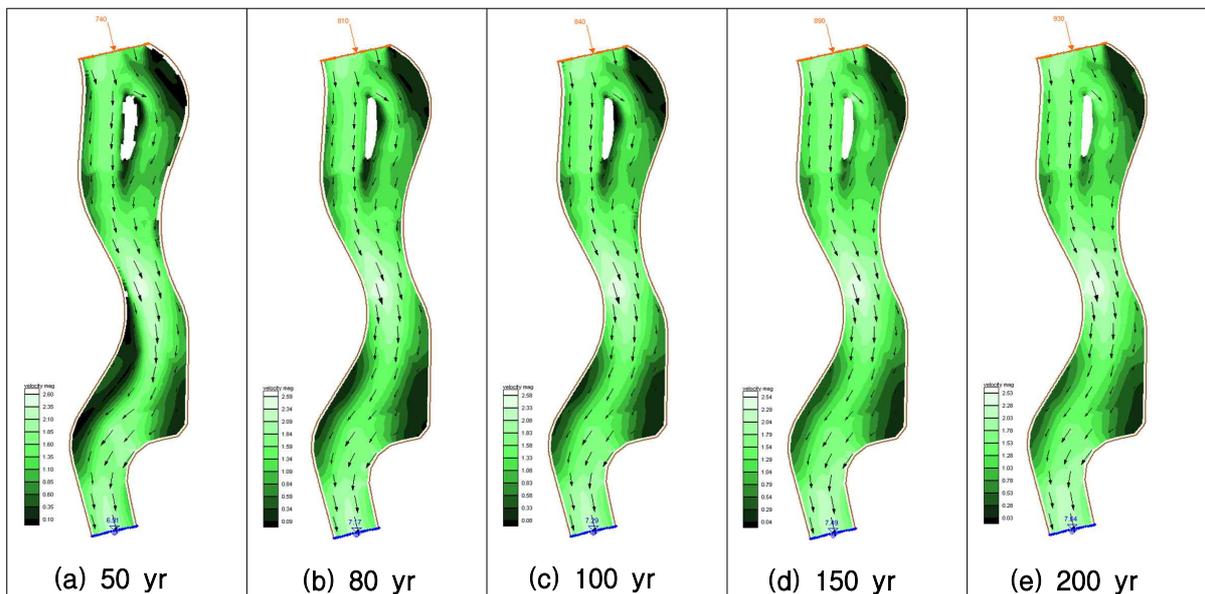


그림 4. 흐름장 예측결과