

CCHE2D 모형을 이용한 합류부에서 흐름 및 하상변동 분석

Analysis of flow and bed changes at a 90° Open-Channel Junction by using CCHE2D Model

김준호*, 장창래**

June-Ho Kim, Chang-Lae Jang

요 지

하천의 합류부에서는 홍수시 침수피해가 빈번하게 발생 하거나 하안침식, 강터붕괴, 하천의 장갑화 등의 악영향이 발생하는데, 이러한 현상의 원인 규명을 위해 분류와 지류의 유량비에 의해 혹은 지류의 유입각에 의해 다양한 흐름 특성을 가정하고 개수로 장치를 이용하거나 수치모형 실험을 통하여 연구되고 있다.

본 연구에서는 미시시피 대학 연구기관인 NCCHE(Natioanl Center for Computational Hydroscience an Engineering)에서 개발한 CCHE2D 2차원 수치모형을 이용하여, 개수로 합류부에서 흐름 및 하상변동 특성을 분석하였다. 수치모의 결과는 “Experiments on Flow at a 90° Open-Channel Junction”, Journal of Hydraulic Engineering, May 2001, Vol. 127, No. 5, 340-350.에 기재되었던 논문의 실내실험 결과와 비교분석하였으며, 유속의 분포는 0.01~1.0 m정도로 개수로 관측치와 비교적 유사하게 모의 되었다. 또한 하상 변동 모의 결과 Biron 등(1996)이 제안한 합류부에서 6구역의 흐름 정의도와 대체적으로 유사하게 모의 되었으며, 최대 유속 구간에서 -0.2m~0.03m의 침식이 발생하고, 정체 구간과 분리구간에서 0.01~ 0.02m의 퇴적이 발생하였다.

본 연구의 결과는 하천의 물리적 특성을 파악하고 하천공사나 수리구조물 설계의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 합류부, CCHE2D, 수치모형

1. 서 론

하천은 여러 하천의 연결망으로 구성되고 연결부는 하천이 합류되는 곳으로 하천시스템의 중요한 요소이다. 하천의 합류부에서 발생하는 복잡한 흐름특성을 규명하고자 그림 1.에서 보여주는 것처럼 Biron 등(1996)은 하천의 합류부를 구성하고 있는 6개의 다른 구역, 즉 흐름의 정체 구역(flow stage-nation), 편향구역(flow deflection), 분리구역(flow separation), 최대흐름구역(Maximum velocity), 회복구간(flow recovery) 및 전단층 구역(shear layer) 등 6개의 구역으로 이루어진 흐름의 일반모형을 제안하였다. 이들 구역에 대한 위치와 범위, 흐름의 분리구역, 두 흐름 사이의 전단층, 그리고 흐름의 편향구역은 두 흐름의 합류부 각도와 유출량의 변화에 따라 결정된다. 본 연구에서는 실제 적용에 앞서 단순화된 개수로 실험 장치에서 실험한 내용을 바탕으로 CCHE2D수치모형을 구성하고 개수로 관측치와 비교 검증을 실시하여 수리적 특성의 객관적인 자

* 비회원 · 한국수자원공사 수자원 연구원 연구원 · E-mail : robeldo@kwater.or.kr
** 정회원 · 충주대학교 토목공학과 조교수 · E-mail : cjang@cjnu.ac.kr

료를 확보한 후 하상 변동에 관하여 수치모의를 수행하여 그 특성을 파악하였다.

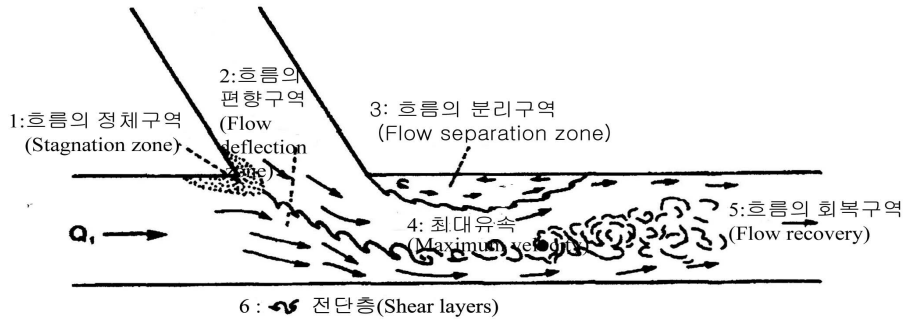


그림 1. 합류부에서 흐름의 정의도(Biron et al., 1996)

2. CCHE2D 모형의 이론

2.1 운동량 방정식

수심-적분된 2차원 난류 흐름의 운동 방정식은 데카르트 좌표계로 나타내며 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial h \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{xy}}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + f_{Cor} v \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial h \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{yy}}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho h} + f_{Cor} u \quad (2)$$

여기서 u 그리고 v 는 x -그리고 y -방향에 대한 수심-적분된 유속 성분이고, t 는 시간, g 는 중력 가속, η 는 자유수면, ρ 는 물의 밀도, h 는 지역 수심, f_{Cor} 는 코리올리 계수, 파라메타 τ_{xx} , τ_{xy} , τ_{yx} , τ_{yy} 는 수심 적분된 레이놀드 응력, 그리고 τ_{bx} , τ_{by} 는 하상 그리고 흐름에 따른 전단응력이다. 수면에서 전단응력 텀들은 미소하여 바람으로 인한 전단효과는 고려하지 않음으로 가정하고 있다.

2.2 연속 방정식

흐름에 대한 자유수면 고도는 수심 적분된 연속 방정식에 의해 계산되면 다음 식과 같다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

흐름 시뮬레이션 과정에서 ζ 하상고도의 변화가 없다고 가정하면, $\partial \zeta / \partial t = 0$, 연속 방정식은 다음처럼 단순화된다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

여기서 η 는 자유수면 고도, h 는 수심, 하상 지형변화는 수동역학 보다 충분히 느리게 진행되기 때문에 이 방정식은 포괄적으로 적용되고 있으며, 2차원 모델의 자유수면 계산에 이용된다. 하상 고도 변화가 빠른 것은 (3)식이 적용 된다.

2.3 유사이송 방정식

각 분급 사이즈에 대해 3차원 전달-확산 유사이송 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial c_k}{\partial t} + \frac{\partial(uc_k)}{\partial x} + \frac{\partial(vc_k)}{\partial y} + \frac{\partial(wc_k)}{\partial z} - \frac{\partial(w_{sk}c_k)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_s \frac{\partial c_k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_s \frac{\partial c_k}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\epsilon_s \frac{\partial c_k}{\partial z} \right) \quad (5)$$

여기서 c_k 는 k -th 유사의 분급 농도; u, v 그리고 w 는 x방향 y방향 그리고 중력에 따라 수직 z 방향 의 유속 성분; w_{sk} 는 k -th 유사의 분급의 침강 속도; $\epsilon_s = \nu_t / \sigma_s$ 은 흐름의 와점성; σ_s 은 난류 Prandtl-Schmidt 수 로 계산된 ϵ_s 는 유사의 와-확산 (eddy diffusivity) 이다. 3차원 방정식(5)를 적분하고 하상 운반 준에 걸쳐 소류사의 연속 방정식을 유도한다.

$$(1 - P') \frac{\partial z_{bk}}{\partial t} + \frac{\partial(\overline{\delta c_{bk}})}{\partial t} + \frac{\partial q_{bkx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{bky}}{\partial y} = -E_{bk} + D_{bk} \quad (6)$$

P' 는 그 하상 물질의 공극율 ; $\overline{c_{bk}}$ 는 평균 소류사의 평균 농도 q_{bkx} 와 q_{bky} 는 x-,y-방향으로 소류사의 전달 성분, 보통 $q_{bkx} = \alpha_{bx} q_{bk}$ 와 $q_{bky} = \alpha_{by} q_{bk}$; α_{bx} 와 α_{by} 는 소류사 운동 코사인 방향, 여기서 하상 진단응력의 단방향이라 가정하면; q_{bk} 는 소류사 k -th분급의 이동률 이다.

3. CCHE2D 모형의 적용

3.1 수치모형의 적용

수치모형의 적용을 위해서 그림 2.와 같이 계산 격자망을 작성하였으며, 표 1.과 같이 분류와 지류의 유량비에 대해 Run-1과 Run-2에 대해 수치모형을 수행하였다. 유속의 검증은 Run-1에 대해서 수행하였으며, 검증에 필요한 개수로 관측치는 (www.ihr.uiowa.edu)에서 인터넷으로 배포하고 있다. 검증은 그림 3.과 같이 대체적으로 관측치와 유사하게 모의 하였으며, 검증된 Run-1의 결과를 바탕으로 Run-2를 수행하였다. 흐름 모의 후 표2.와 같이 소류사 단일 모델로(bed load model) 유사 이송 수치모의를 실시하였다.

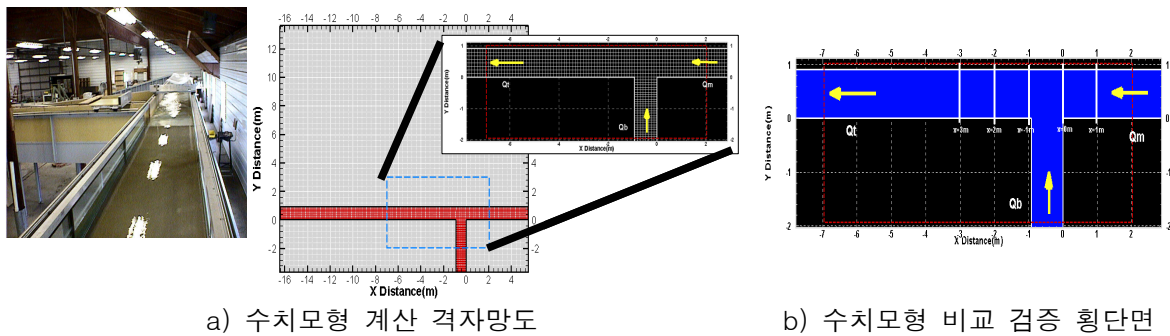


그림 2. 수치모형 계산 격자 및 비교검증 횡단면도

표 1. Flow 수치모의 조건

모의 조건	분류유량 (Qm)	지류유량 (Qb)	전유량 (Qt)	유량비 (Q*)	하류수심	모의시간
run 1	0.042(m ³ /s)	0.127(m ³ /s)	0.17(m ³ /s)	0.25	0.296(m)	30(min)
run 2	0.127(m ³ /s)	0.042(m ³ /s)	0.17(m ³ /s)	0.75	0.296(m)	

$$Q^* = Q_m / Q_t \text{ (분류유량/전유량)}$$

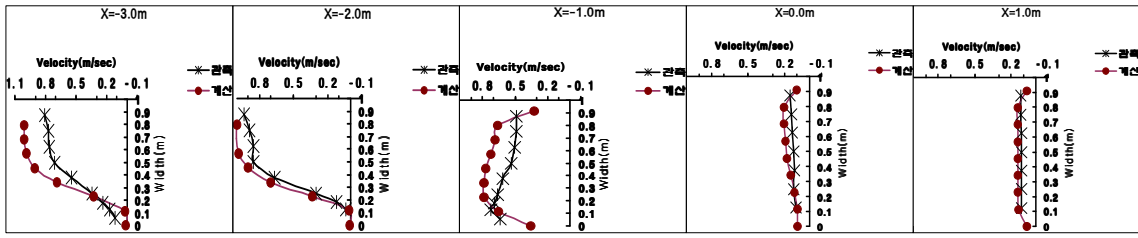


그림 3. Run-1 관측치 와 계산치의 유속 분포도 (-3m, -2m, -1m, 0m, 1m 지점)

표 2. Sediment Transport 수치모의 조건

모의조건	입경	이송모델	유사 유입량	모의시간	유량비
run 1	1.25(mm)	소류사 (bed load)	0.015(kg/s)	30(min)	0.25
run 2					0.75

3.2 수치모형의 결과 고찰

Run-1의 경우 합류부에 가까이 수위가 상승하며, Run-2의 경우 합류부에서 후퇴하여 수위가 상승하고 있다. 유속의 분포는 Run-1의 경우 최대유속이 Run-2에 비하여 강하게 산출 되었으며, 하상 변화는 Run-1에서는 분리구간에 0.02m 퇴적이 되고 최대 유속 구간에서 -0.03m 강한 세굴이 이루어지나 빠르게 회복하여 소구간의 침식을 유발하고 있다. Run-2의 경우 분리구간에 0.02m 퇴적이 발생하고 최대 유속 구간에서는 -0.02m의 침식이 발생하고 있으며, 침식 구간은 비교적 길게 이어 지고 있었다. 또한 정체 구간에서의 0.02m 퇴적이 발생하는데, Run-1보다 2배 많은 퇴적이 발생하였다.

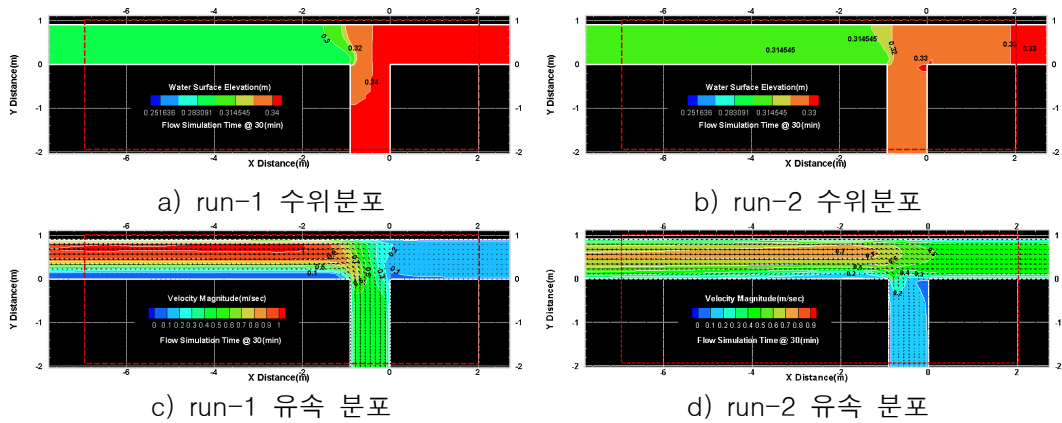


그림 4. 흐름특성 결과

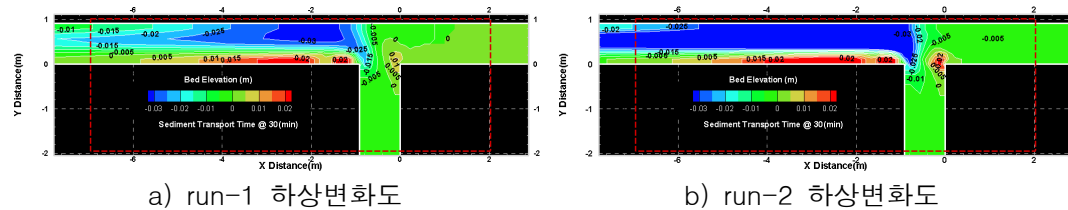


그림 5. 하상변화 결과

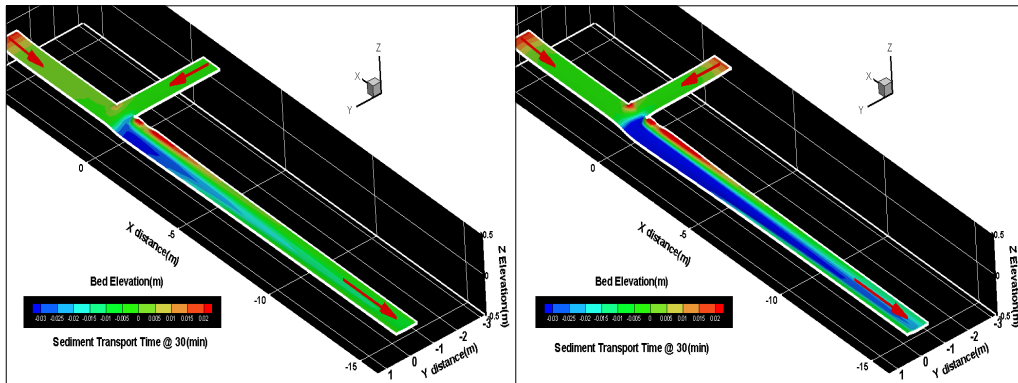


그림 6 run-1 하상변동 양상

그림 7 run-2 하상변동 양상

4. 결 론

본 연구에서는 본류의 유량비(Q^*) 0.25, 0.75의 경우로 수치모형을 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

수치 모의 결과 대체적으로 실내실험 관측치와 유사하게 모의 되었으며, Run-1은 최대 유속이 Run-2보다 강하게 산출 되었다. 수위 분포는 Run-1에서 합류부에 가까이 수위 상승이 발생하고 Run-2에서는 상대적으로 후퇴하여 수위가 상승하는 흐름 특성이 모의 되었다.

하상 변동 모의 결과 Biron 등(1996)이 제안한 합류부에서 6구역의 흐름 정의도와 대체적으로 유사하게 모의 되었으며, Run-1은 최대 유속 구간에서 강하게 침식하나 침식구간이 짧고, 빠른 회복이 이루어지며, Run-2는 침식구간이 길게 이어진다. Run-1과 Run-2는 분리구간과 정체구간에서 퇴적이 발생하는데, 정체구간에서는 Run-2의 퇴적량이 큰 것으로 모의되었다.

감 사 의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(06건설핵심B01)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 장창래, 김정근, 고익환 (2006). 합류부에서 흐름 및 하상변동 수치모의(금강과 미호천 합류부 중심으로), 한국습지학회 논문집, 제8권 제3호, pp. 1-10.
2. Weiming Wu, CCHE2D Sediment Transport Model (version 2.1) Technical Report No. NCCHE-TR-2001-3 August 2001.
3. Biron, P., Best, J.L., and Roy, A. G. (1996). "Effects of bed discordance on flow dynamics at open channel confluences." *J. Hydraul. Eng.*, ASCE, 122(12), pp. 676-682.
4. "Experiments on Flow at a 90° Open-Channel Junction" *Journal of Hydraulic Engineering*, May 2001, Vol. 127, No. 5, 340-350. Weber, Larry J., Schumate, Eric D., and Mawer, Nicola. <http://www.iuhr.uiowa.edu/people/resume/LarryWeber/WeberExperimentsOnFlow.html>