

감천 유역의 교량에 의한 1·2차원 흐름특성 비교

Comparison of One and Two-Dimensional Flow Characteristics due to Bridges in Gam Stream

복정수*, 장창래**, 정관수***

Jung Soo Bok, Chang-Lae Jang, Kwan sue Jung

요 지

국내에서 하천 정비 사업을 수행할 경우에 HEC-RAS와 같은 1차원 수치모형을 이용하여 개략적으로 홍수위 및 단면평균 유속 분석을 통한 치수안전성을 검토하고 있다. 그러나 1차원 모형은 교량이나 보 등의 하천 횡단구조물에 의한 수위 상승 구간을 정확히 산정하기 어려우며 지류가 유입하는 합류지점이나 하도형상이 급변하는 지점에서의 국부적인 흐름의 변화양상을 계산하기에는 많은 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 감천과 직지사천이 합류하는 구간을 대상으로, 1차원 수치모형인 HEC-RAS와 2차원 모형인 FLUMEN을 이용하여 수위 및 유속분포 등 수리특성을 비교·분석하여 그 특성을 파악하였다.

모형의 적용 결과, 두 모형 모두 김천교 수위국의 실측치에 대해 절대오차율평균이 5% 이내이며 상관계수 및 결정계수가 1에 가까운 값을 보여 비교적 정확한 모의 결과를 보여주었다. 또한 두 모형 모두 교량 직상류부의 수위상승과 직하류부의 수위하강의 양상은 비교적 동일하게 나타났다. 그러나 수리구조물에 대한 영향을 1차원 모형이 잘 반영하지 못하기 때문에 합류부 상류구간의 교량 단면에서 수위 및 유속분포의 차이는 비교적 크게 나타났으며, 특히 합류부 직상류부의 교량단면에서의 수위분포는 15~20% 정도의 차이가 나타났다.

핵심용어 : FLUMEN, HEC-RAS, 교량, 합류부

1. 서론

국내 하천 개수 사업이나 수공구조물 등의 설계에 주로 이용되는 HEC-RAS와 같은 1차원 모형은 교량이나 보 등의 하천 횡단구조물에 의한 수위 상승 구간을 정확히 산정하기 어려우며(Brunner 등, 1995), 지류가 유입하는 합류지점이나 하도형상이 급변하는 지점에서 국부적인 흐름의 변화양상을 계산하기에는 많은 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 감천과 직지사천이 합류하는 구간을 대상으로, 1차원 수치모형인 HEC-RAS와 2차원 모형인 FLUMEN을 이용하여 수위 및 유속분포 등 수리특성을 비교·분석하고 그 특성을 파악하였다.

2. 본론

2.1 연구 대상 구간

* 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 공동연구원 · E-mail : hydrobok@cnu.ac.kr
** 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 · E-mail : cljang@kwater.or.kr
*** 정회원 · 충남대학교 토목공학과 교수 · E-mail : ksjung@cnu.ac.kr

연구 대상 구간은 경북 김천시의 국가하천 감천과 지방 2급하천 직지사천이 합류하는 지점으로 감천 본류 상류단은 합류점에서 약 2.3km, 하류단은 약 1.8km 떨어진 지점이며, 직지사천 상류단은 합류점에서 약 700m 떨어진 지점이다. 그림 1에서 보는 바와 같이 감천 본류 구간의 하천은 전형적인 사행하천의 모습을 하고 있으며, 만곡부에는 사주가 형성되어 있는 것을 볼 수 있다. 연구 대상 구간 내에 위치하고 있는 교량은 총 7곳으로 그림 2에서 보는 바와 같으며, 감천과 직지사천의 합류부 지점에서는 경부고속국도와 김천대교, 경부고속철도가 집중적으로 관통하고 있다. 또한 합류부에서 약 1km 상류 지점에 2002년 태풍 ‘루사’에 의해 좌안쪽 2개의 교각이 유실되었던 김천철교가 위치하고 있다. 합류부 지점에 위치하는 교량의 경우 다른 지점에 비해 수리학적으로 매우 불리한 위치인데도 불구하고 도로의 교통기능과 시공상의 경제성을 이유로 무분별하게 건설되어 있어 홍수 시 유수소통에 많은 장애를 일으키고 있다.

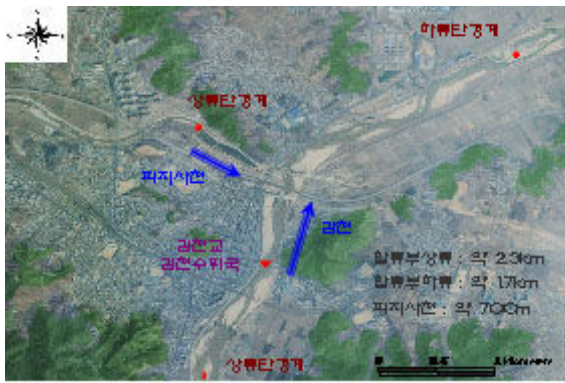


그림 1. 감천과 직지사천 합류부



그림 2. 교량 현황(항공사진, 2004)

2.2 경계조건 및 격자망

수치모형을 이용하여 하천의 흐름을 해석하기 위한 지형자료의 구축은 감천의 경우 ‘감천 하천정비기본계획(보완)(건설교통부, 부산지방국토관리청, 1997)’의 HEC-2 단면자료를 이용하였으며, 직지사천의 경우 ‘직지사천 하천정비기본계획(변경)(경상북도, 2004)’의 HEC-RAS 단면자료를 이용하였다. 1차원 모형의 지형자료는 그림 3에서 보는 바와 같이 전반적인 수리특성 분석을 위하여 감천구간은 김천교에서 1.5km 정도 상류지점인 No.57단면에서부터 감천 하구의 선산수위표지점인 No.6+300단면까지 구성하였으며, 직지사천 구간은 감천 합류부에서 700m 정도 상류지점인 No.7단면까지 구성하였다. 2차원 모형의 지형자료는 그림 4에서 보는 바와 같이 제외지의 경우 HEC-RAS 횡단면 자료를 3차원 좌표(x, y, z)로 변환하여 구성하였으며, 제외지의 경우 국토정보지리원의 1:5000 수치지도에서 표고점 및 등고자료 등을 추출하여 구성하였다.

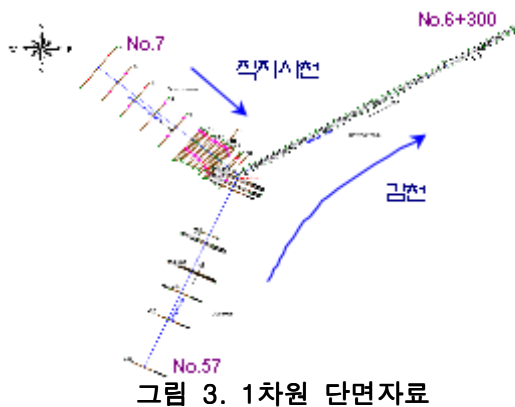


그림 3. 1차원 단면자료

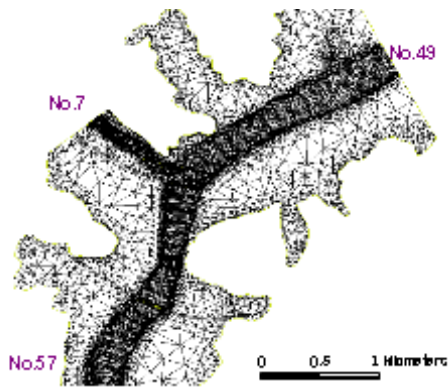
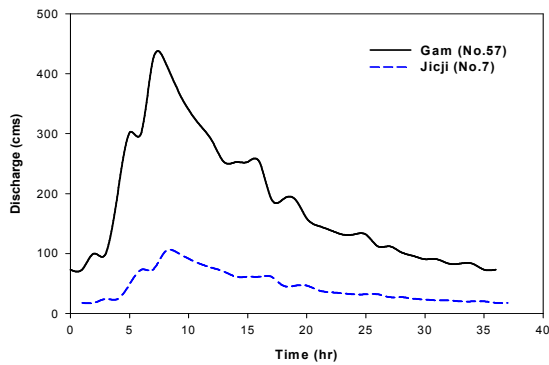


그림 4. 2차원 수치모의를 위한 격자망 생성

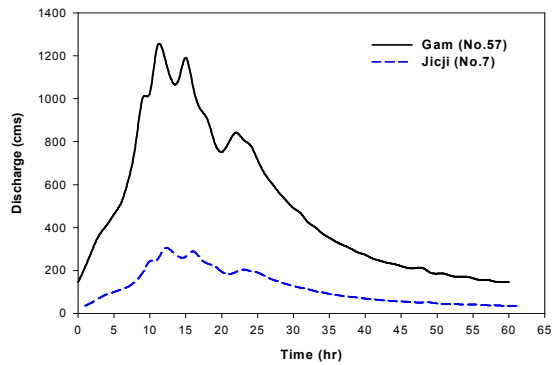
1차원 및 2차원 부정류 모의를 위해 선정된 홍수사상은 표 1에서 보는 바와 같이 1998년 8월 18일 07시~1998년 8월 19일 19시까지의 36시간(Run-1)과 1998년 9월 30일 07시~1998년 10월 2일 19시까지의 60시간(Run-2)의 수문곡선이다. 감천 상류단 경계조건은 김천수위국 지점의 유량을 선택하였으며, 모형의 지형자료에 구성된 하천 단면자료의 측량년도(1998년도)와 김천교 지점의 수위-유량 곡선식의 유-무를 고려하여 1998년도의 시수위자료 2개를 1998년도에 작성된 수위-유량곡선식을 이용해 시유량으로 변환하였다. 직지사천의 경우 감천과 마찬가지로 상류단 경계조건으로 유량수문곡선을 선택하였다. 그러나, 직지사천 내에 수위관측소가 없어 김천수위국까지의 유역면적(451.20km^2)에 대한 직지사천 유역면적(128.47km^2)의 비율(0.243)을 감천의 상류단 수문곡선에 적용하여 유입 수문곡선을 산정하였다. 하류단 경계조건으로 1차원 모형의 경우 선산수위국의 시수위 자료를 이용하였으며, 2차원 모형의 경우 1차원 모형의 부정류 모의 결과 생성된 No.49단면의 시수위 자료를 이용하였다. 그림 5의 (a)와 (b)는 1차원 및 2차원 모형의 상류단 경계조건에 적용된 감천과 직지사천의 유입 수문곡선을 보여주고 있으며, 그림 5의 (c)와 (d)는 1차원과 2차원 모형의 하류단 경계조건에 적용된 시수위곡선을 보여주고 있다. 모형에 적용된 구간별 조도계수의 값은 표 2와 같으며, 좌·우측 홍수터의 조도계수는 주수로와 동일하게 적용하였다.

표 1. 수치모의 조건

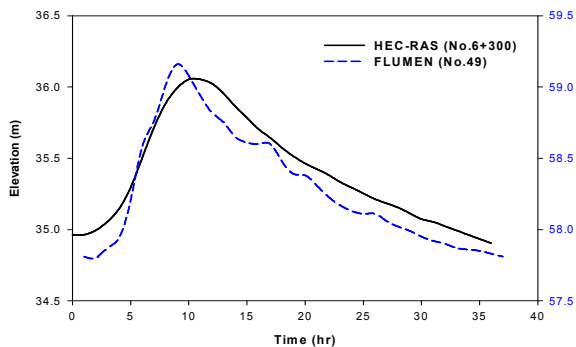
경계조건	상류단		하류단		설 명
	감천 (No.57)	직지사천 (No.7)	HEC-RAS (No.6+300)	FLUMEN (No.49)	
Run-1	36hr 수문곡선		36hr 시수위자료		1998/8/18 07:00~1998/8/19 19:00
Run-2	60hr 수문곡선		60hr 시수위자료		1998/9/30 07:00~1998/10/2 19:00



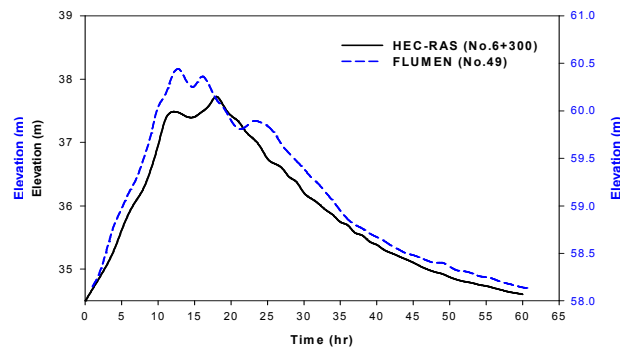
(a) 상류단 경계조건(Run-1)



(b) 상류단 경계조건(Run-2)



(c) 하류단 경계조건(Run-1)



(d) 하류단 경계조건(Run-2)

그림 5. 상류단 및 하류단 경계조건

표 2. 구간별 조도계수

하천명	구 간(Station No.)	조도계수	비 고
감천	No.57~No.44	0.031	모래, 잡초
	No.43~No.30	0.028	모래, 잡초小
	No.29~No.6+ 300	0.024	모래, 잡초없음
직지사천	No.7~No.0	0.029	모래, 잡초小

2.3 모형의 적용 결과

모형의 검증 및 교량의 유·무에 따른 흐름특성을 분석하기 위하여 표 3과 같이 Run-1과 Run-2에 대한 CASE별 1차원 및 2차원 중단 수위 및 유속 분포를 분석하였다. HEC-RAS와 FLUMEN 모형의 적용 후, 계산 결과는 김천교 김천수위국 지점의 수위자료를 이용하여 비교·검증하였다. 검증방법에 사용된 상관계수와 결정계수는 1에 가까울수록, 절대오차율평균은 작을수록 강한 양의 선형 상관관계가 되고 양호한 모형이라고 판단할 수 있다. Run-1의 경우, 그림 6의 (a)에서 보는 바와 같이 HEC-RAS의 CASE별 절대오차율평균은 각각 1.99%와 2.55%로 FLUMEN의 3.1%와 3.7%에 비해 낮게 나타났다. Run-2의 경우, 그림 6의 (b)에서 보는 바와 같이 FLUMEN의 CASE별 절대오차율평균은 각각 1.92%와 2.85%로 HEC-RAS의 3.88%와 4.47%에 비해 낮게 나타났다. 이는 FLUMEN에 입력되지 않은 초기유량이 Run-1과 같은 저유량을 모의할 때 상대적으로 큰 영향을 미쳐 수위가 낮게 모의된 것으로 판단된다. Run-1과 Run-2에서 CASE-1이 CASE-2에 비해 실측치와 더 가까운 모의결과를 보였으며, 상관계수와 결정계수는 두 모형 모두 모든 경우에서 0.98이상으로 비교적 정확한 모의결과를 보여주었다.

표 3. 흐름특성 분석조건

경계조건	분석조건	설 명
Run-1	CASE-1	하천 횡단 구조물이 없는 경우
Run-2		
Run-1	CASE-2	하천 횡단 구조물이 있는 경우 (경부고속철도 교량 제외)
Run-2		

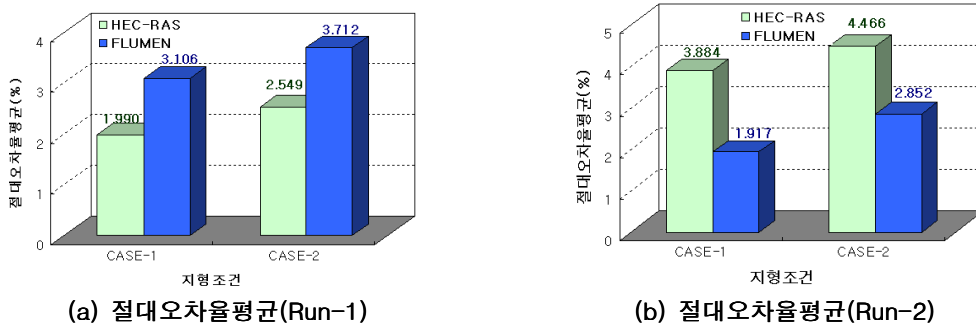


그림 6. 모형별 검증 결과

교량이 없는 경우(CASE-1)의 흐름특성은 그림 7의 (a)와 (b)에서 보는 바와 같이 합류부 상류구간 및 김천철교 직상류 부근의 수위 및 유속이 15~20% 정도의 차이가 나타났으며, 대체적으로 FLUMEN의 수위가 높고 유속은 반대의 양상을 보였다. 이러한 현상은 FLUMEN의 지배방정식이 보존형 방정식이기 때문에 교각 주변과 같이 흐름이 급격하게 변하는 구간에서 소산되어야 할 에너지가 보존되어 수위가 높게 나타난 것으로 판단된다. 교량이 있는 경우(CASE-2)의 흐름특성은 그림 7의 (c)와 (d)에서 보는 바와 같이 CASE-1의

결과와 유사하게 나타나고 있으나, 김천철교 상류지점(No.55)에서 수위와 유속분포의 차이가 현저하게 감소하였다. 김천철교 상·하류단면의 수위차는 FLUMEN이 5~7cm이며, HEC-RAS가 29~30cm로 HEC-RAS가 교량 단면을 모의하는 과정에서 다소 큰 차이가 발생한 것으로 판단된다. 그러나, 두 모형 모두 교량 직상류부의 수위상승과 직하류부의 수위하강의 양상을 비교적 잘 모의하였다.

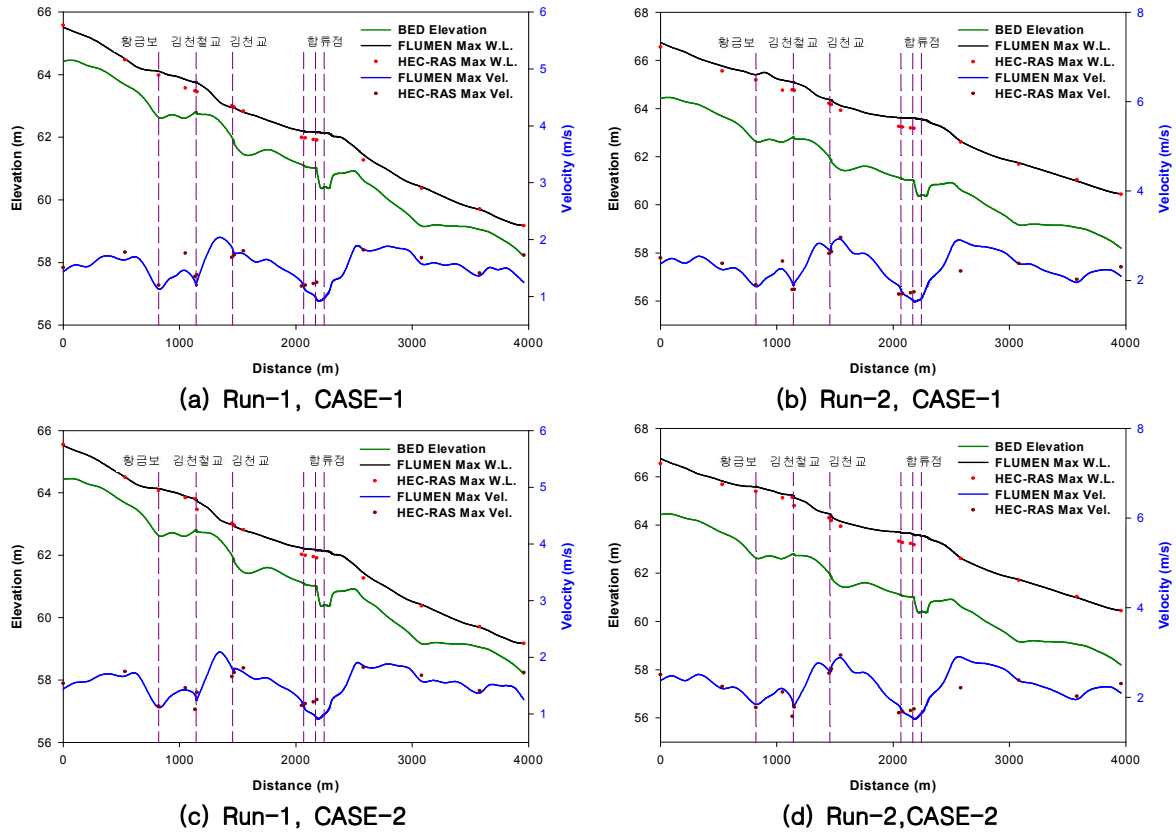


그림 7. 1차원 및 2차원 모형의 감천 종단 수위 유속 분포

3. 결론

모형의 적용 결과, 두 모형 모두 실측치에 대해 절대오차율평균이 5% 이내이며 상관계수 및 결정계수가 1에 가까운 값을 보여 비교적 정확한 모의 결과를 보여주었다. 또한 두 모형 모두 교량 직상류부의 수위상승과 직하류부의 수위하강 양상은 비교적 동일하게 나타났다. 그러나 수리구조물에 대한 영향을 1차원 모형이 잘 반영하지 못하기 때문에 합류부 상류구간의 교량 단면에서의 수위 및 유속분포의 차이는 비교적 크게 나타났다. 특히 합류부 직상류부의 교량단면에서의 수위분포는 15~20% 정도의 차이가 나타났다.

참고 문헌

1. 건설교통부/부산지방국토관리청(1997). 감천 하천정비기본계획(보완).
2. 경상북도(2004). 직지사천 하천정비기본계획(변경).
3. Brunner, G. W. and Hunt, J. H.(1995). "Comparison of the One-Dimensional Bridge Hydraulic Routines from: HEC-RAS, HEC-2 and WSPRO", Research Document No. 41, Davis, CA, September 1995.