

1-2차원 수리모형을 이용한 합류부에서의 교각설치에 따른 흐름특성 분석

Analysis of Flow Characteristics due to Bridge Installation using 1-D and 2-D Hydraulic Models at a Channel Junction

박병기*, 이대업**, 정관수***

Byung Ky Park, Dae Up Lee, Kwan Sue Jung

요 지

합류부에서의 수공구조물의 설치는 수리학적으로는 매우 불리하며, 최근 심각해지고 있는 국지성 집중호우로 인한 과중한 유량이 합류부에 집적되어 홍수위를 상승시킴으로써 하천 범람 피해의 주원인이 된다.

본 연구에서는 1차원 HEC-RAS 및 2차원 수치모형 CCH2D를 이용하여 합류부에서의 교각설치에 따른 하천흐름 변화를 분석하고 각 모형의 성과를 비교·검토한다. 또한 2차원 모형인 CCHE2D 모형의 원형교각 배치에 대한 단점을 보완하고자 2차원 수리해석 모형인 FLUMEN모형과 함께 비교·분석하여 실제 교각의 배치, 형상 및 제원이 고려된 격자망을 이용하여 합류부 주변에 위치한 교량에 의한 흐름 유동특성을 평가한다.

핵심용어 : HEC-RAS 모형, CCHE2D 모형, FLUMEN 모형, 교각설치, 합류부

1. 서론

국내 하천정비 사업이나 하천 내 수공구조물, 실제 합류 하천 주변 수치모의는 1차원 모형과 2차원 모형을 사용하고 있다. 하지만 1차원 모형은 교각 형상 및 배치에 대한 고려를 하기 어렵고, 단면평균 유속을 사용하기 때문에 합류부에서의 유속분포를 파악할 수 없다. 이에 반면 2차원 모형은 1차원 모형보다 짧은 구간에 대해 장시간의 격자구성과 모의 시간이 필요하지만, 만곡부에서의 발생하는 편수위, 합류부에서의 흐름 분리구역과 교각주변에서의 와류 등을 모의할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 감천과 직지사천이 합류하는 구간을 대상으로 1차원 수치모형인 HEC-RAS 모형과 2차원 모형인 CCHE2D를 비교하고 CCHE2D 모형의 원형교각 배치에 대한 단점을 보완하고자 2차원 수리해석 모형인 FLUMEN(FLUvial Modeling Engine)모형을 이용하여 수위 및 유속분포 등 수리특성을 비교·분석하고 그 특성을 파악하였다.

2. 본론

2.1 연구 대상구간

연구 대상 구간은 경북 김천시의 국가 하천 감천과 지방2급 하천 직지사천이 합류하는 지점으로 감천 본류 상류단 합류점에서 약 2.6 m, 하류단은 약 1.4km 떨어진 지점이며, 직지사천 상류

* 정회원 · 충남대학교 토목공학과 석사 · E-mail : ds2mxq@yahoo.co.kr
** 정회원 · 충남대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : daeup-lee@nate.com
*** 정회원 · 충남대학교 토목공학과 교수 · E-mail : ksjung@cnu.ac.kr

단은 합류점에서 약 700 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 경부고속도로와 김천대교, 경부고속철도가 집중적으로 관통하고 있다.



그림 1. 감천과 직지사천 합류부

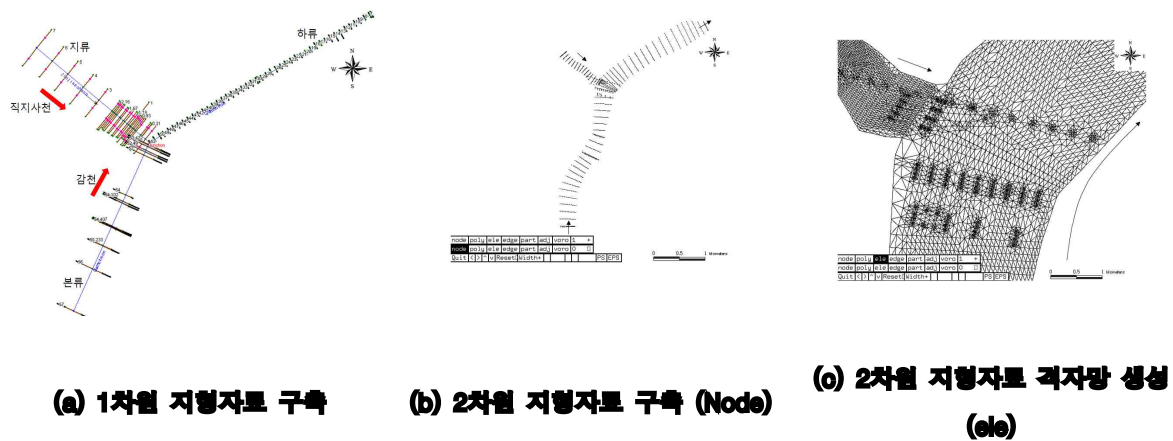


그림 2. 교량 현황(항공사진, 2004)

2.2 경계조건 및 격자망

수치모형에 입력되는 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 합류점에서 약 2.6km 정도 상류지점인 No.57 단면에서부터 감천 하구의 선산수위표지점(No.6+300)까지 구성하였으며, 직지사천 구간은 감천 합류부에서 0.7km 정도 상류지점인 No.7 단면까지 구성하였으며, 체내지의 경우 국토지리원의 1:5000 수치지도에서 표고점 및 등고자료 등을 추출하여 구성하였다.



(a) 1차원 지형자료 구축

(b) 2차원 지형자료 구축 (Node)

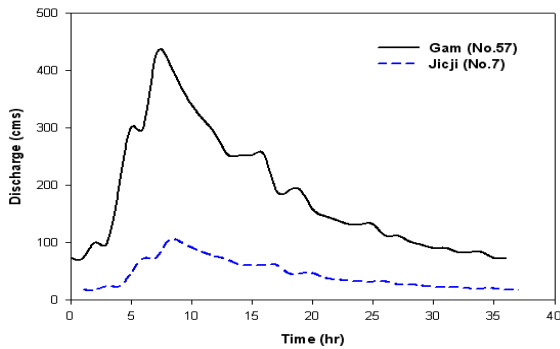
(c) 2차원 지형자료 격자망 생성
(ele)

그림 3. 1차원 및 2차원 지형자료 구축

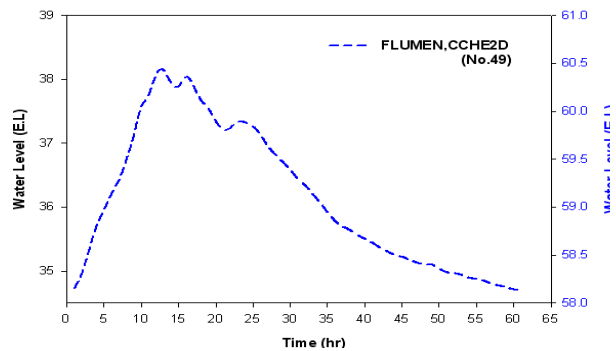
1차원 및 2차원 모형의 검증 및 보정을 위하여 선정된 홍수사상은 1998년 8월 18일 07시~1998년 8월 19일 19시까지의 36시간 수문곡선이다. 감천 상류단 경계조건은 김천수위국 지점의 유량을 선택하였으며, 모형의 지형자료에 구성된 하천 단면자료의 측량년도(1998)와 김천교 지점의 수위-유량 곡선식의 유·무를 고려하여 1998년도의 시수위자료를 1998년도에 작성된 수위-유량곡선식을 이용해 시유량으로 환산하여 사용하였다. 직지사천의 경우 감천과 마찬가지로 상류단 경계조건으로 유량수문곡선을 선택하였다. 그러나, 직지사천 내에 수위관측소가 없어 김천수위국까지의 유역면적(451.20 m)에 대한 직지사천 유역면적(128.47km²)의 비율(0.243)을 감천의 상류단 수문곡선에 적용하여 유입 수문곡선으로 이용하였다. 하류단 경계조건으로 1차원 모형의 선산수위국의 시수위 자료를 이용하였으며, 2차원 모형의 경우 1차원 모형의 부정류 모의 결과에 의하여 생성된 No.49단면(합류점에서 약 1.4km 하류지점)의 시수위 자료를 이용하였다. 그림 4의 (a)는 1차원 및 2차원 모형의 상류단 경계조건에 적용된 감천과 직지사천의 유입 수문곡선을 보여주고 있으며, 그림 4의 (b)는 1차원과 2차원 모형의 하류단 경계조건에 적용된 시수위곡선을 보여주고 있다. 모형에 적용된 김천수위국 지점의 수위-유량곡선식은 표 1과 같다. 조도계수의 값은 표 2와 같으며, 좌·우측 홍수터의 조도계수는 주수로와 동일하게 적용하였다.

표 1. 김천수위국 지점의 수위-유량곡선식

적용기간	수위범위	수위-유량곡선식	자료출처
1998	-0.34<h<0.79	$75.8741(h + 0.35)^{-0.4337}$	한국수문조사연보 (1998, 건교부)
	0.8<h<3.11	$Q = 63.7966(h + 0.35)^{2.3638}$	



(a) 1차원 및 2차원 상류단 경계조건



(b) 1차원 및 2차원 하류단 경계조건

그림 4. 1차원 및 2차원 상·하류단 경계조건

표 2. 구간별 조도계수

하천명	구간 (Station No.)	조도계수 (1차원모형)	조도계수 (CCHE2D)	조도계수 (FLUMEN)
감천	No.57~No.44	0.025	0.025	0.025
	No.43~No.30	0.028	0.028	0.028
	No.29~No.6+ 300	0.024	0.024	0.024
직지사천	No.7~No.0	0.029	0.029	0.029

2.3 모형의 적용 결과

본 연구는 수공 구조물인 교량이 2개인 경우(CASE-1)와 추가로 건설된 교량을 포함한 7개의 교량(CASE-2)에 대한 흐름특성을 분석하고자 표3과 같이 50년, 100년, 200년 각각의 빈도별 홍수량에 대한 1·2차원 종단 수위 및 유속분포를 분석하였다.

분석 대상구간은 감천분류 (No.57~No.49)의 약 4km 구간이며, 지류인 직지사천 (No.7~No.0)의 경우 약 700m 구간으로 선정하였다. 1차원 모형인 HEC-RAS 모형의 모의 결과는 평균수위와 평균유속임을 이용하여 2차원 모형인 CCHE2D 모형의 평균수위 및 평균유속을 구하였으며, 1차원 모형인 HEC-RAS 모형의 결과와 비교하였다. 또한 1·2차원 모형의 비교된 CCHE2D 모형을 동일 조건하의 FLUMEN 모형과 비교하여 원형교각 배치에 대한 단점을 보완하고자 한다. 수치모형에 입력되는 경계조건으로는 ‘감천 하천정비기본계획(보완)(건설교통부, 부산지방관리청,1997)’에 제시된 빈도별 홍수량을 사용하였다.

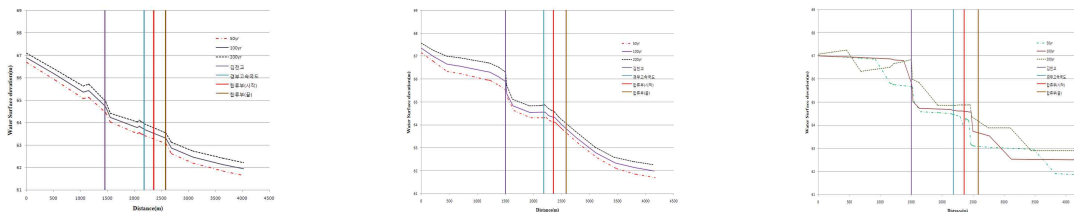
표 3. 흐름특성 분석조건

분석조건	분석모형	빈도	설 명
CASE-1	(HEC-RAS)	50년	하천 횡단 교량이 2개인 경우
		100년	
		200년	
	(CCHE2D)	50년	
		100년	
		200년	
	(FLUMEN)	50년	
		100년	
		200년	
CASE-2	(HEC-RAS)	100년	하천 횡단 교량이 7개인 경우
	(CCHE2D)	100년	
	(FLUMEN)	100년	

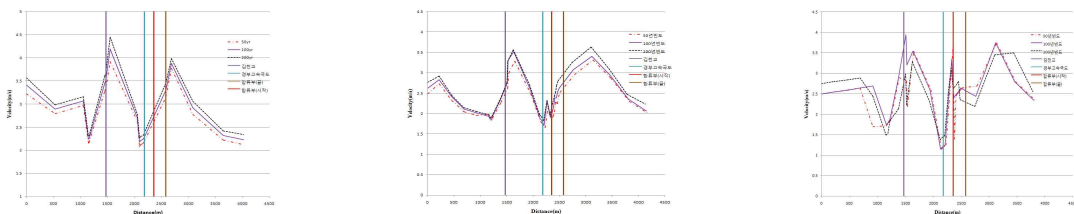
CASE-1에서의 각각의 빈도별 홍수량에 따른 수위변화 영향을 분석한 결과 그림 5와 같이 감천교의 배수영향은 1차원 모형인 HEC-RAS 모형이 50년 빈도에서는 0.17m, 100년빈도에서는 0.06m, 200년빈도에서는 0.07m높은 수위를 보였으며, 합류부에서는 50년빈도에서는 0.02m, 100년 빈도에서는 0.02m, 200년빈도에서는 0.1m의 수위차이가 나타났으며 합류부 수위차이는 50년빈도에서는 0.38m, 100년빈도에서는 0.42m, 200년빈도에서는 0.02m를 나타내었으며, 200년빈도에서는 CCHE2D가 높게 모의 되었다. 또한 각각의 빈도별 홍수량에 따른 유속변화를 분석한 결과 그림 5

와 같이 교량 상·하류단에서의 유속 차이는 FLUMEN 모형이 CCHE2D 모형에 비하여 크게 나타났고 합류부에서의 유속 차이 역시 FLUMEN 모형이 CCHE2D 모형에 비하여 크게 나타났다. 이러한 현상이 발생한 것은 하도의 축소와 교각사이에 유속이 급격히 증가되는 현상이라 판단된다.

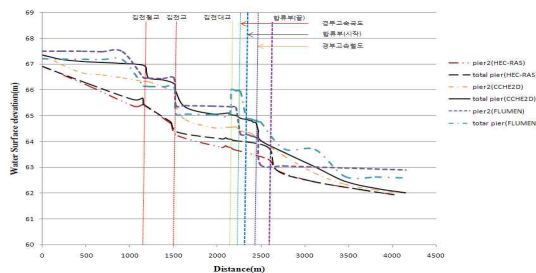
또한 CASE-2에서의 각각의 흐름특성을 분석하면 그림 6에서 보는바와 같이 1차원 모형인 HEC-RAS 모형은 김천교 상·하류단에서 CCHE2D 모형에 비하여 수위차가 0.12m 높게 나타났으며, 2차원 모형간의 비교에서는 FLUMEN 모형이 0.24m 높게 모의 되었다. 합류부 전·후에서는 최대 1.04m 수위차가 발생하였으며, 이는 단면의 확대로 인하여 흐름이 회복되는 과정에서 유속변화에는 CCHE2D 모형에 비해 적게 영향을 미치지 못하는 것이라 판단된다.



(a) 1차원 HEC-RAS, CASE-1 (b) 2차원 CCHE2D, CASE-1 (c) 2차원 FLUMEN CASE-1
그림 5. 1·2차원 모형 빈도별 홍수량에 따른 수위분석 (CASE-1)



(a) 1차원 HEC-RAS, CASE-1 (b) 2차원 CCHE2D, CASE-1 (c) 2차원 FLUMEN CASE-1
그림 6. 1·2차원 모형 빈도별 홍수량에 따른 유속분석 (CASE-1)



교량하천 흐름특성 분석 (CASE-2)
그림 6. 1·2차원 모의결과 비교 (CASE-2)

5. 결과

1차원 모형에서는 단면평균 유속을 사용하므로 합류부에서 발생하는 정체구역 등을 모의할 수 없고 단면 급확대 및 급축소 구간이나 만곡부 또는 합류부와 같은 하도의 지형변화가 큰 구간에서는 수위와 유속 등의 횡단 분포를 나타낼 수 없었다. CCHE2D 모형에서는 FLUMEN 모형에 비하여 교각의 형상과 지형적 조건에서 모의하기에는 다소 어려움이 있었다.

감사의 글

본 연구의 일부는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술 혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대 홍수방어기술 개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부/부산지방국토관리청 (1997). 감천 하천정비기본계획(보완)
2. 경상북도 (2004). 직지사천 하천정비기본계획(변경)
3. Beffa, C. (1996). "Backwater Computation For Transcritical River Flows", J. Hydr. Eng., pp.745-748