

FLUMEN 모형을 이용한 홍수범람 해석

Analysis of Flood Inundation using FLUMEN Model

복정수*, 정관수**, 장창래***

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

요 지

일반적으로 우리나라 수해는 미개수 하천 지역의 외수침수와 더불어 홍수유출 단면 부족 및 내수배제 불량 등이 주요 원인이지만 하천 내 주요 수공구조물인 교량이나 보 등에 의한 홍수위 상승으로 발생한다. 특히, 교량은 도로의 교통기능에 중점을 둔 설계와 시공으로 수리학적으로 매우 불리한 위치에 건설되기도 하며 기존 교량폭의 확장이나 인접한 위치에 다른 교량들을 추가로 건설하여 하천의 한정된 통수단면적이 점차적으로 감소하는 등 하천관리에 많은 어려움이 가중되고 있다. 따라서 본 연구에서는 FLUMEN 모형을 이용하여 교량이 홍수위 상승 및 홍수범람에 미치는 영향과 이에 따른 제외지 침수면적의 변화를 파악하였다. 감천과 직지사천이 합류되는 구간을 대상으로 지형자료는 총 7곳의 교량을 고려하여 구축한 후 교량 유무에 따른 조건별 부정류 모의를 실시하였다.

모형의 적용 결과 교량 건설에 따른 하폭 감소율은 김천철교 지점에서 10.92%로 가장 컸으며, 수위는 김천대교 지점에서 0.15m로 가장 크게 상승하였다. 또한 경부고속국도 주변의 수위는 경부고속철도 교량의 신설로 인해 140%까지 증가하는 것으로 나타났다. 홍수범람 모의 결과 교량 건설 전과 후에 제방 월류에 의한 침수가 발생하였고 교량 건설 후 범람면적과 침수심이 증가하였으며, 홍수범람의 주원인은 하천의 통수단면적이 작기 때문으로 나타났다.

핵심용어 : FLUMEN, 교량, 배수위, 홍수범람

1. 서론

하천 내 주요 수공구조물인 교량이나 보 등에 의한 홍수위 상승은 수해의 직·간접적인 원인이 될 수 있다. 그러나, 교량의 경우 수리학적으로 불리한 위치에 건설되기도 하며, 교량 확장 및 추가 건설로 하천의 통수단면적을 감소시켜 하천관리에 어려움을 가중시키는 요인이 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 FLUMEN 모형을 이용하여 교량이 홍수위 상승 및 홍수범람에 미치는 영향과 이에 따른 제외지 침수면적의 변화를 파악하였다.

2. 본론

2.1 연구 대상 구간

연구 대상 구간은 경북 김천시의 국가하천 감천과 지방 2급하천 직지사천이 합류하는 지점으로 그림 1에

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

서 보는 바와 같이, 감천 본류 구간은 전형적인 사행하천의 모습을 하고 있다. 연구 대상 구간 내에 위치하고 있는 교량은 총 7곳으로 감천과 직지사천의 합류부 지점에서는 경부고속국도와 김천대교, 경부고속철도가 집중적으로 관통하고 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. 대상 구간내 교량현황(항공사진, 2004)

2.2 경계조건 및 격자망

수치모형을 이용하여 하천의 흐름을 해석하기 위한 지형자료의 구축은 그림 2에서 보는 바와 같이 제외지의 경우 HEC-RAS 횡단면 자료를 3차원 좌표(x, y, z)로 변환하여 구성하였으며, 체내지의 경우 국토정보 지리원의 1:5000 수치지도에서 표고점 및 등고자료 등을 추출하여 구성하였다. 교각을 포함하는 2차원 지형 격자망 구성 시 교량의 기초 제원과 교각의 형상, 배치 등을 고려하였다. 대상 구간 내의 교각 형상은 김천 철교와 신음 2교를 제외하고 모두 원형으로 과다한 격자망이 생성되지 않는 범위에서 격자망을 구성하였다. 지형 격자 생성 결과는 표 1과 같다. 2차원 부정류 모의를 위해 선정한 홍수사상은 감천 상류단의 경우 김천 수위국의 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. 직지사천의 경우 수위관측소가 없어 김천수위국까지의 유역면적(451.20km²)에 대한 직지사천 유역면적(128.47km²)의 비율(0.243)을 감천의 상류단 수문곡선에 적용하여 유입 수문곡선을 산정하였다. 하류단 경계조건으로 1차원 모형의 부정류 모의 결과 생성된 No.49 단면의 시수위 자료를 이용하였다. 홍수범람 해석에 입력된 상류단과 하류단 경계조건은 대상구간의 계획홍수량인 200년 빈도와 태풍 '루사'의 유량과 수위를 이용하였다. 모형에 적용된 구간별 조도계수의 값은 감천(건설교통부, 1997)과 직지사천(경상북도, 2004) 하천정비기본계획에서 제시한 값을 그대로 사용하였다.

표 1. 지형 격자 생성 결과

지형 격자 생성		절점의 수	삼각망 수	교각의 수	전체면적(km ²)
교각이 없는 경우	CASE-1	12,496	24,088	0	5.461
교각이 있는 경우 (경부고속철도 제외)	CASE-2	17,632	33,264	139	5.461
교각이 있는 경우 (경부고속철도 포함)	CASE-3	17,632	33,264	155	5.461

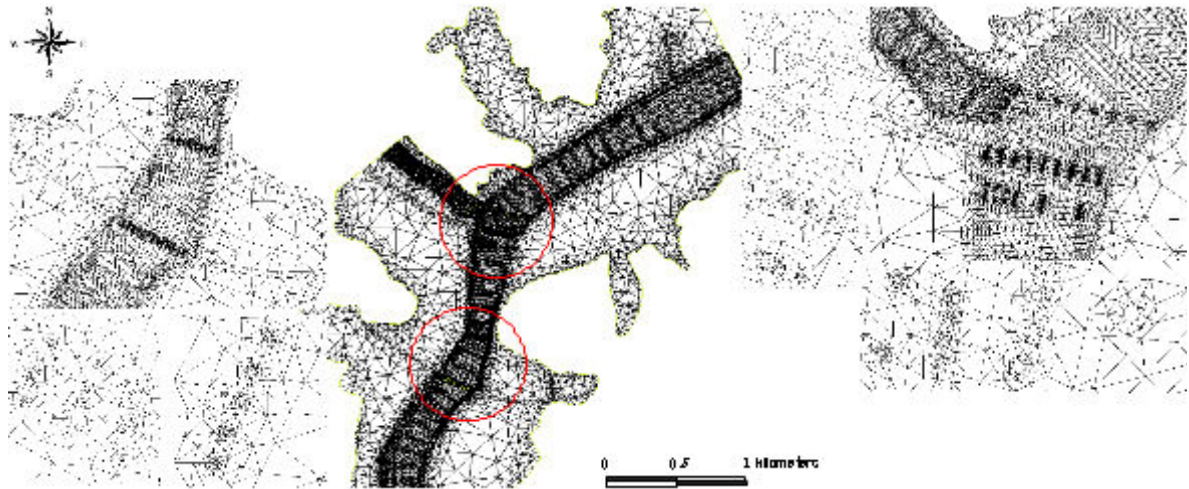


그림 2. 2차원 지형 격자망 및 교각 배치도

2.3 모형의 적용 결과

교량에 의한 감천의 종단 수심변화를 살펴보기 위해 Run-1과 Run-2에 따른 CASE별 FLUMEN의 모의 결과를 비교·분석하였다. 그림 3과 그림 4는 감천의 종단 수심 분포를 나타낸 것으로 Run-1과 Run-2 모두 교량단면 상류부에서 배수위(Backwater)에 의해 수위가 상승한 것을 확인할 수 있으며, 그 특징은 Run-2에서 뚜렷하게 나타나고 있다.

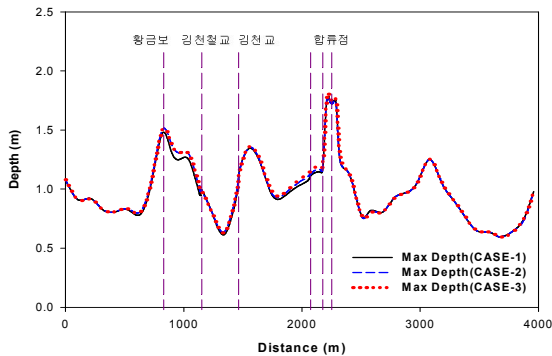


그림 4. 감천 종단 수심 분포(Run-1)

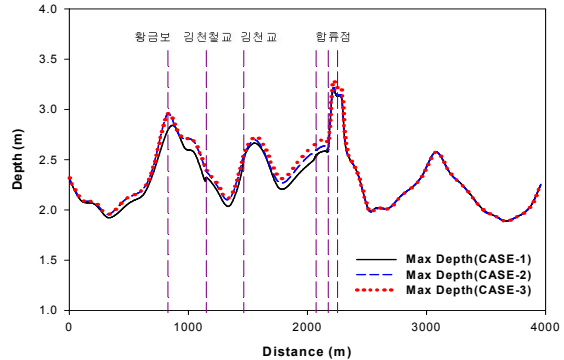


그림 5. 감천 종단 수심 분포(Run-2)

표 2는 Run-2에 대한 감천 교량 단면에서의 CASE별 수위변화를 분석한 것으로 교각 두께에 의한 하폭 감소율(%)을 고려하여 수위상승고와의 상관관계를 살펴보았다. 여기서 하폭 감소율(%)은 설치된 교각폭의 합계/설계홍수위에 있어서의 수면의 폭을 나타낸다. 분석 결과, 하폭 감소율은 김천철교 지점에서 10.92%로 가장 컸으며 수위상승고는 김천대교 지점에서 CASE-3일 때 0.15m로 가장 크게 나타났다. 김천교 지점에서는 하폭 감소율(2.13%)이 가장 작으나 수위상승고(0.09~0.11m)는 상대적으로 높게 나타났다. 이는 김천교 교각의 직경이 작아 총 교각폭이 작지만 단일교각이 아닌 병렬 교각군으로 배열이 되어있고, 통수단면적이 작기 때문이라고 판단된다. 배수위가 나타나는 구간의 길이는 교량이 설치되기 전과 후에 교량에 의한 수위의 상승이 나타나는 구간의 길이로 산정하였다. 그 결과, 김천철교의 경우 816m로 가장 크게 나타났으며, 경부고속철도 교량의 경우 742m까지 배수위가 나타났다. 특히, 경부고속국도에서는 CASE-2일 때의 수위상승고가 0.05m였으나 CASE-3일 때의 수위상승고는 0.12m로 경부고속철도 교량에 의해 수위상승고가 약 140% 증가하는 것으로 나타났다.

표 2. 감천 교량의 CASE별 수위변화 분석 결과(Run-2)

교량명 (Station No.)	누가거리 (m)	조 건 (CASE)	하폭 (m)	총 교각폭 (m)	하폭 감소율 (%)	수위 상승고 (m)	수위 상승고 증가분 (m)	수위 상승고 증가율 (%)
김천철교 (No.54+ 416)	1134	CASE-2	238	26	10.92	0.13		
		CASE-3				0.14	0.01	3.96
김천교 (No.54+ 82)	1450	CASE-2	150	3.2	2.13	0.09		
		CASE-3				0.11	0.02	21.49
김천대교 (No.53)	2050	CASE-2	235	12	5.11	0.08		
		CASE-3				0.15	0.07	80.40
경부고속국도 (No.52+ 430)	2150	CASE-2	242	18	7.44	0.05		
		CASE-3				0.12	0.07	140.33
경부 고속철도1	2292	CASE-2	235	38.5	7.02	0.07		
		CASE-3				0.07	0.07	
경부 고속철도2	2320	CASE-2	254	22	6.50	0.00		
		CASE-3				0.04	0.04	

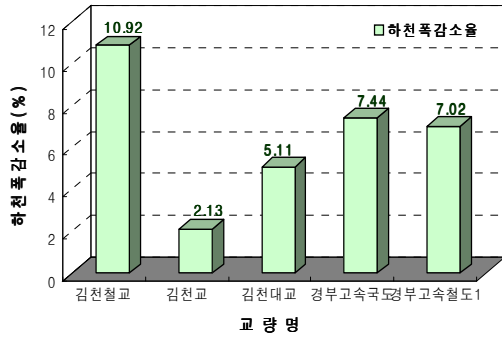


그림 6. 감천 교량의 하폭 감소율(Run-2)

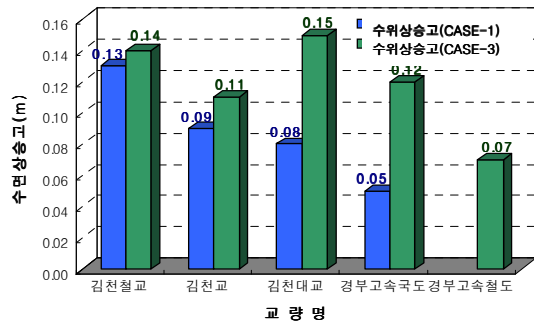


그림 7. 감천 교량의 CASE별 수위상승고(Run-2)

교량이 홍수범람에 미치는 영향과 이에 따른 제내지 침수면적의 변화를 살펴보기 위해 CASE별 홍수범람 해석을 실시하였다. 그림 7은 200년 빈도의 최대침수심도로 CASE-1의 경우 직지사천의 좌안과 감천 합류부 지점에서 범람하였으며 이러한 양상은 CASE-2에서도 비슷하게 나타났다. 이는 경부고속철도 교량을 제외한 나머지 교량들에 의한 수위 상승이 크지 않아 범람지역이 비슷하게 나타난 것으로 판단된다. 그러나, CASE-3의 경우 직지사천의 우안쪽에 추가범람이 발생하였으며 침수심도 크게 나타났다. 이는 경부고속철도 교량에 의해 직지사천의 수위가 상승하여 제방 윗류에 의한 범람이 발생한 것으로 판단된다.

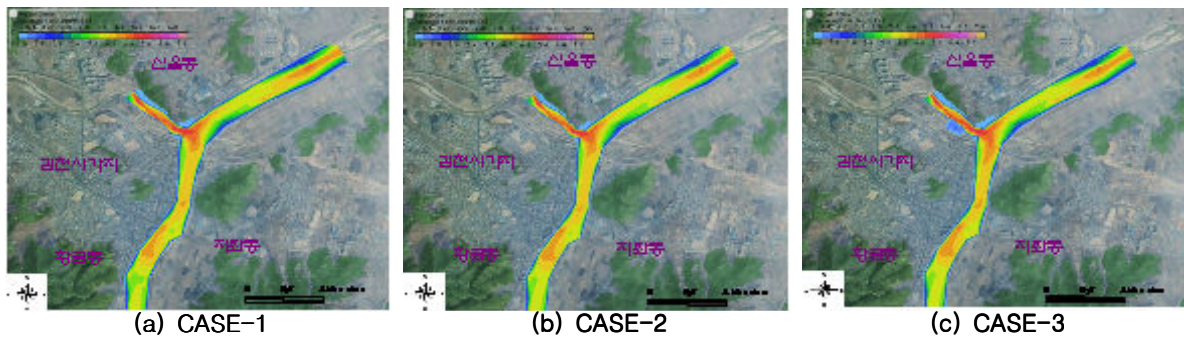


그림 8. 최대 침수심도(200년 빈도)

태풍 '루사'를 경계조건으로 하여 FLUMEN 모형을 모의한 결과 CASE-1과 CASE-3 모두 제방 월류에 의한 침수가 발생하였고 CASE-1에 비해 CASE-3에서 범람면적과 침수심이 증가하였다. 따라서, 홍수범람의 주원인이 수로 자체의 수리학적 용량이 작기 때문이며 교량은 홍수를 악화시킨 요인으로 판단할 수 있다. 그림 9와 그림 10에서 보는 바와 같이 김천시가지에서 범람이 가장 크게 나타났으며 범람면적은 CASE-3에서, 범람면적 비율은 CASE-1에서 가장 크게 나타났다. 교량의 설치에 따른 범람면적 증가율은 전체적으로 36.8% 증가한 것으로 나타났으며, 지좌동에서 192.4%로 가장 크게 나타났다. 이는 교량에 의해 홍수피해가 가중된다는 것을 반증하는 것으로 특히, 김천철교 지점은 제방의 증축과 같은 구조적인 대책이나 상류 유입량을 줄이는 등의 방안을 마련하여 홍수피해를 최소화해야 할 것으로 판단된다.

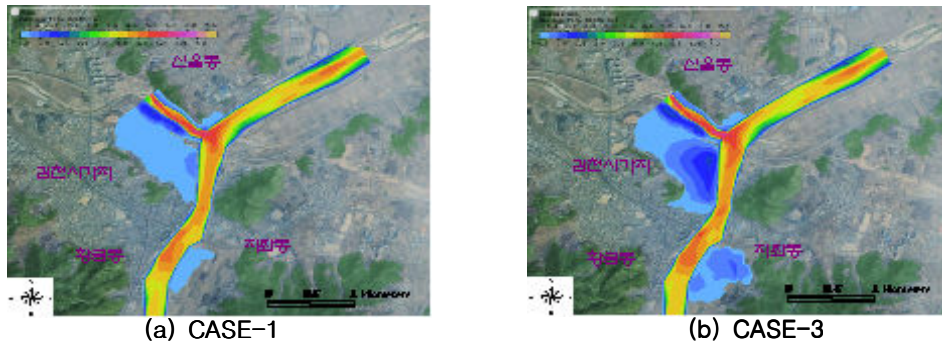


그림 12. 최대 침수심도(태풍 '루사')

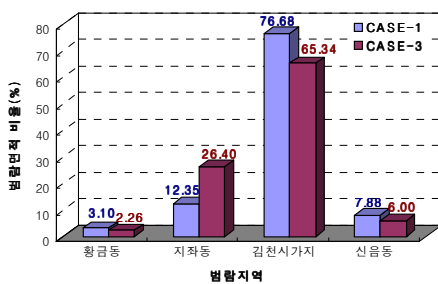


그림 15. 조건별 범람면적 비율(태풍 '루사')

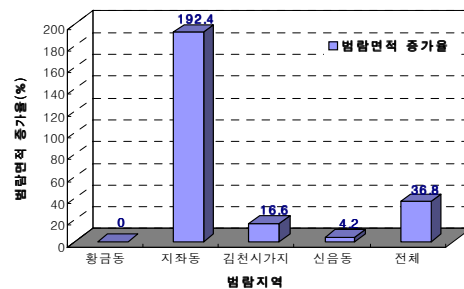


그림 16. 범람면적 증가율(CASE-3, 태풍 '루사')

3. 결론

모형의 적용 결과 교량 건설에 따른 하폭 감소율은 김천철교 지점에서 10.92%로 가장 컸으며, 수위는 김천대교 지점에서 0.15m로 가장 크게 상승하였다. 또한 경부고속국도 주변의 수위는 경부고속철도 교량의 신설로 인해 140%까지 증가하는 것으로 나타났다. 홍수범람 모의 결과 교량 건설 전과 후에 제방 월류에 의한 침수가 발생하였고 교량 건설 후 범람면적과 침수심이 증가하였으며, 홍수범람의 주원인은 하천의 통수단면적이 작기 때문으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부/부산지방국토관리청(1997). 감천 하천정비기본계획(보완).
2. 경상북도(2004). 직지사천 하천정비기본계획(변경).
3. 정대진(2007). "FLUMEN 모형에 의한 갑천과 유등천 합류부 흐름특성 분석", 석사학위논문, 충남대학교.
4. Beffa, C.(1996). "Backwater Computation For Transcritical River Flows", J. Hydr. Eng., pp.745-748.