

부정류 모형을 이용한 우이천의 수리학적 홍수추적에 관한 연구

A Study on Hydraulic Flood Routing of U-Ee Stream Using Unsteady Models

김종석*, 윤선권**, 문영일***

Jong Suk Kim, Sun Kwon Yoon, Young Il Moon

요 지

최근의 예상치 못한 이상기후와 태풍은 막대한 인명 및 재산피해 등의 손해를 입히고 있다. 이러한 자연재해를 극복하기 위한 방법으로 하천 제방 및 댐 건설 등 구조적인 대책과 홍수예경보 시스템 구축등 비구조적인 대책을 수립하고 있다. 그러나 국내의 하천에서는 이치수를 위한 홍수위 추적모형으로 정상 부등류 계산 모형이 일률적으로 적용하고 있어 홍수재해예방 및 피해 경감대책의 수립을 위한 자료로 활용하는데 어려움이 있다. 따라서 실제 하천의 흐름특성을 제대로 반영할 수 있는 부정류 모형의 필요성은 더욱 증대되고 있다.

본 연구에서는 대표적인 홍수위추적모형인 HEC-RAS모형과 FLDWAV모형을 이용하여 우이천의 수리학적 홍수추적을 실시하였으며 홍수파의 감쇄효과 등을 비교하여 적용성을 검토하고 조도 계수 등 매개변수 추정에 대한 문제점을 개선하고자 한다.

핵심용어 : 부정류해석, FLDWAV모형, HEC-RAS모형

1. 서 론

국내에서 주로 이용하고 있는 하천 치수계획은 제방의 안정성을 평가하고 분석하는데 주력해 왔다. 제방의 안정성 평가는 유역의 설계 홍수량을 산정한 결과를 토대로 설계 홍수위를 산정하여 제방의 여유고를 확보하는 방법을 사용하고 있으며 확률홍수위를 정확하게 산정하는 일이 무엇보다 중요하다. 그러나 설계시 적용하는 계획홍수위는 정상 부등류 상태의 결과를 반영한 것이며 실제 하천의 흐름특성을 제대로 반영하지 못하는 단점이 있다. 따라서 대표적인 홍수위 추적모형인 HEC-RAS와 FLDWAV모형을 적용하여 우이천 유역의 부정류 해석을 실시하고 그 결과를 기준으로 방법들과 비교함으로써 유출분석을 위한 합리적인 방향을 제시하고자 한다.

홍수추적에 대한 대표적인 연구로는 이종태 등(1993)이 1차원 하도추적모형인 DWOPER 모형을 이용하여 한강본류에 대한 조위영향 분석이 있으며, 안익장 등(1994)은 한강 하구부의 흐름특성 분석을 위해 음해법 수치기법을 사용한 동수역학모형을 연구한 바 있다. 김원 등(1995)이 한강하류부(팔당댐 ~ 광장, 잠수교 ~ 인도교)구간의 하도에 대한 조도계수를 1차원 부정류 모형인 NETWORK모형을 이용하여 산정하였고 최근 들어 이정규와 전세호(2004)는 FLDWAV모형을 이용하여 조도계수에 따른 한강수위변화를 해석하였다.

* 정회원·서울시립대학교 토목공학과 박사수료·E-mail : jongsuk@uos.ac.kr

** 정회원·서울시립대학교 토목공학과 박사과정·E-mail : skyoon@uos.ac.kr

*** 정회원·서울시립대학교 토목공학과 교수·E-mail : ymoon@uos.ac.kr

2. 홍수위추적모형

2.1 HEC-RAS모형

HEC-RAS 모형은 자연수로 및 인공 수로에 대한 1차원 수리계산을 위해 개발되었으며 상류(Subcritical flow)와 사류(Supercritical flow), 혼합류(Mixed flow) 형태의 수면곡선 모두를 계산하며, 교량이나 암거, 웨어, 홍수터의 구조물과 같은 여러 수공구조물의 영향을 수면곡선 계산에 반영할 수 있다. 기본적인 계산 과정은 일차원 에너지 방정식 해법을 기본으로 하고 에너지 손실은 마찰(Manning 공식)과 단면 수축/확장에 의해 구해진다. 운동량 방정식은 수면 곡선이 급격히 변화되는 상황에서 사용되며 혼합류 평형상태 계산(도수), 교량의 수리학 그리고 하천 합류점(하천 접합)에서의 수면곡선을 계산할 수 있다. 특히 본 모형은 하천 개수와 수면곡선 위에 위치하고 있는 제방의 영향을 평가하는데도 유용하게 이용될 수 있다.

2.2 FLDWAV모형

기존의 DWOPER모형과 댐파괴 모형인 DAMBRK모형을 통합하여 개선한 모형으로 실시간 홍수 예보를 포함한 배수영향이 고려된 수지형 수계의 부정류 해석은 물론, 상류와 사류가 혼합된 흐름에서의 해석이 가능하며, 댐의 붕괴로 인한 홍수파의 흐름해석과 하천제방의 붕괴 또는 월류로 인한 범람해석이 가능하다. 지배방정식은 연속방정식과 운동량방정식으로 구성된 Saint-Venant 방정식이며, 수치해석기법은 Preissmann의 4점 가중 음해법(weighted four point implicit scheme)을 사용하고, 비선형 연립방정식은 Newton-Raphson 방법으로 해석한다.(이정규, 2004)

3. 모형의 적용

3.1 대상유역의 개황 및 특성

본 연구의 대상유역은 중랑천 제1지류로서 유역면적 28.76km^2 , 유로연장 11.75km인 우이천 유역이다. 이 지역은 1998년과 2001년 홍수피해가 심했던 곳으로 재해관리상 지속적인 모니터링이 필요한 유역이다. 수원 및 흐름방향은 강북구 우이동에 위치한 북한산 공원을 수원으로 유하하는 하계천, 가오천 및 대동천이 우측에서 합류한 후 유하하여 중랑천에 이르게 되는 하천으로서 중랑천 지류 가운데 가장 규모가 크며, 우이천의 행정구역 및 수계모식도는 그림1과 같다.

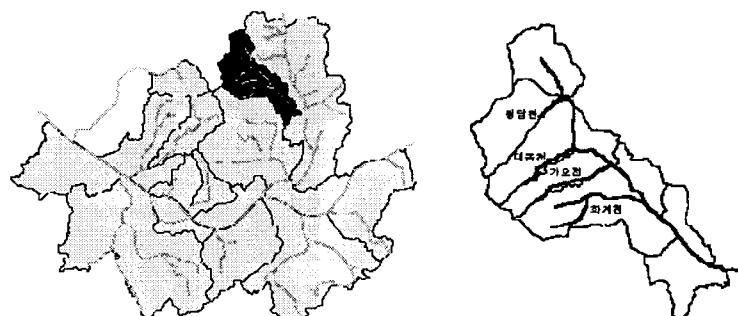


그림 1. 우이천의 행정구역 및 수계모식도

3.2 홍수위에 대한 불확실성 분석

어떠한 수문학적 모형이라도 정확히 하천에서 일어나는 현상을 계산하기는 어렵다. 왜냐하면 수문학적 모형의 대부분은 실제 하천에서 일어날 수 있는 현상의 원인인 변수들을 가장 영향이 큰 몇 개로 대표하여 계산하기 때문이다. 본 연구에서는 기왕의 관측자료에 따른 유출모형의 매개변수를 추정하고 홍수위에 대한 불확실성 분석을 실시하였다.

3.2.1. 유량 및 수위 관측자료

우이천의 수위를 측정하는 위치는 장월교 지점이며 1998년 홍수시 피해가 심했던 성북구 장위동에 위치하고 있고 장위동, 월계동 일대의 재해 관리상 중요한 지점이다.

본 연구에서 사용한 수문자료는 2000년 ~ 2006년도 강우자료와 수위-유량자료를 적용하였으며 다음 그림2는 장월교 지점의 수위와 유량의 관측결과를 나타내고 있다.

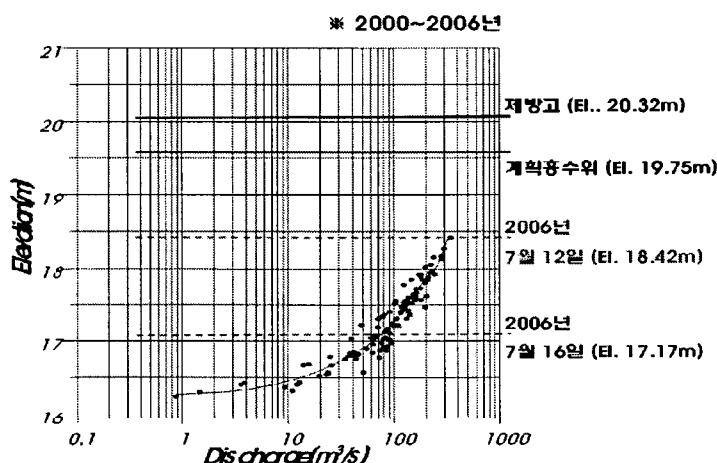


표 1. 수위-유량곡선식(2000년 ~ 2006년)

관측날짜	수위-유량곡선식	결정계수
2000년 ~ 2006년	$Q = 81.52(H - 16.1514)^{1.635047}$ [단, $16.24 \leq H \leq 18.42$]	0.91636

3.2.2. 조도계수의 불확실성 분석

본 연구에서는 우이천 전구간에 걸쳐 조도계수에 따른 민감도 변화를 분석하였으며, “우이천 하천정비기본계획, (서울시, 2003.12)”의 결과를 기준으로 조도계수의 변화에 따른 구간별 수위 변화 양상을 비교·분석하였다. 다음 그림3과 그림4는 정상 부등류와 부정류 상태의 조도계수 변화에 따른 주요지점의 빈도별 수위 변화를 분석한 결과이다. 지점별로 약간의 차이가 있으나 정상 부등류 상태에서 조도계수 $-20\% \sim 20\%$ 변화시 수위는 $-0.4m \sim 0.2m$ 의 변화를 보이는 것으로 나타났으며 부정류 해석 결과 조도계수를 $n=0.035$, $n=0.040$, $n=0.045$, $n=0.050$ 을 적용시 수위는 $0.1m \sim 0.8m$ 로 비교적 큰 변화를 보이는 것으로 분석되었다. 따라서 홍수위 산정에 있어서 가장 민감한 조도계수의 적용은 신중하여야 하며 본 연구에서는 장월교의 실측수위를 적용하여 조도계수를 역산하였으며 부정류 해석시 보정된 최적의 조도계수를 적용하여 홍수위를 추정하였다.(표 2)

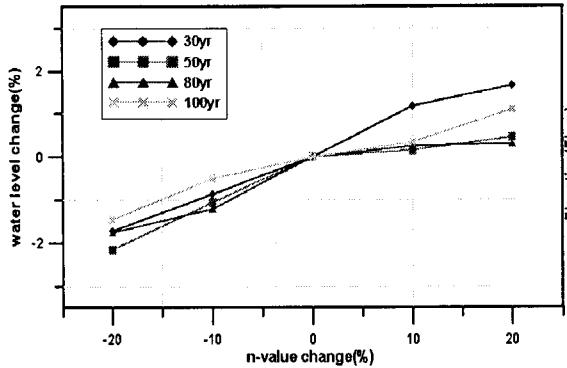


그림 3. 정류 조도계수 민감도 분석

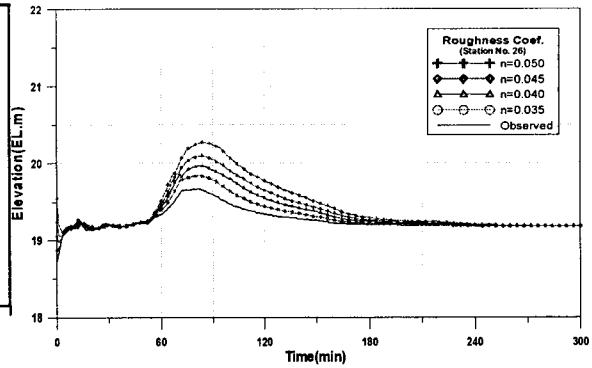


그림 4. 부정류 조도계수 민감도 분석

표 2. 조도계수 보정

구간	조도계수			비고
	기본계획	보정전	보정후	
월계 2교 지점	0.033	0.033	0.032	
장월교 지점	0.030	0.030	0.029	

3.3 부정류 모형을 이용한 수리학적 홍수추적

3.3.1. 실측호우사상에 대한 주요지점의 홍수위 비교

실측호우사상에 대한 장월교 지점의 수위, 유량 관측자료를 바탕으로 주요지점에 대한 홍수량을 산정하였으며 그 값을 HEC-RAS 및 FLDWAV의 상류단 경계조건으로 적용하였다. 또한 장월교 지점의 실측된 수위자료를 하류단 경계조건으로 적용하여 정상부등류 및 부정류 해석을 실시하였다. 그 결과는 다음 그림5와 그림6과 같다. 관측수위에 대한 분석결과 정상부등류 해석결과는 약간 크게 나오며 전체적으로 부정류 해석결과와 유사한 양상을 나타내고 있다.

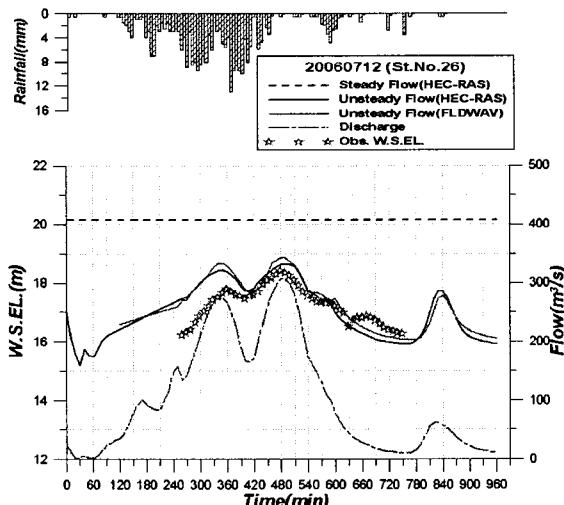


그림 5. 2006년 7월12일 호우사상

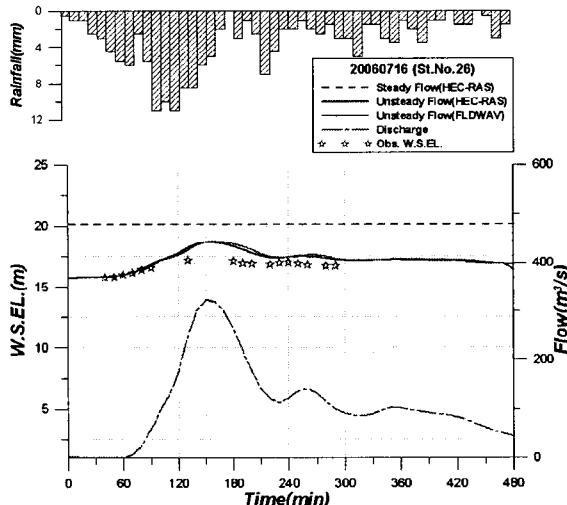


그림 6. 2006년 7월16일 호우사상

3.3.2. 계획홍수위 비교분석

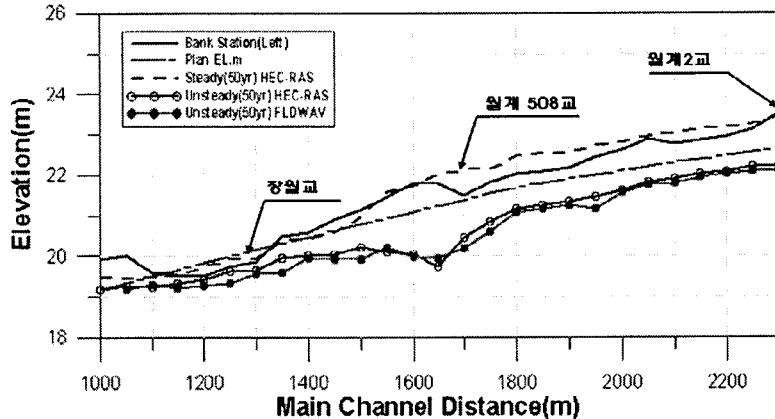


그림 7. 정상 부등·부정류 해석결과

HEC-RAS에 의한 1차원 정상부등류 분석시 제방여유고가 부족했던 화개천 합류구간 ~ 장월교 하류 구간까지 부정류 모의를 실시하여 제방의 여유고를 평가하였다. 분석결과 정상부등류 조건에서 계획홍수위를 초과하는 지점의 수위는 부정류 해석시 대부분 여유고를 확보하는 것으로 분석되었다. 이는 홍수시 부정류상태의 흐름이 하류로 전달되면서 홍수파의 감쇠 효과에 의한 첨두 수위의 감소의 결과라 사료된다.

4. 결 론

국내의 하천에서는 이·치수를 위한 홍수위 추적모형으로 정상 부등류 계산 모형이 일률적으로 적용하고 있어 홍수재해예방 및 피해 경감대책의 수립을 위한 자료로 활용하는데 어려움이 있다. 또한, 현재 실무에서 적용하고 있는 조도계수는 하천 구간별로 일정한 값을 적용하고 있어 하천의 흐름계산 결과의 신뢰도를 저하시키는 원인이 되고 있다. 우이천 유역에 대한 홍수위 분석에서는 1차원 정상부등류 분석시 여유고가 부족하였던 지점을 대상으로 부정류 모의를 실시한 결과 HEC-RAS와 FLDWAV모형에서 홍수파의 감쇠효과로 대부분 여유고를 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 부정류해석의 보다 신뢰성 있는 결과의 도출과 실제 업무에의 적용을 위해서는 동일 유역의 관측된 자료를 바탕으로 지속적인 검증이 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 현

1. 한국수자원학회(2006), 제15회 수공학 Workshop.
2. 서울특별시(2005). 대학과 연계한 하천관리에 대한 연구 보고서(2단계1차년).
3. 서울특별시(2004). 우이천 등 4개 하천정비기본계획보고서.
4. 이정규, 전세호(2004). “부정류 모형을 이용한 한강의 수리학적 홍수추적에 관한 연구.” 대한토목학회논문집, 제 24권, 제4B호, pp.301-310.
5. 이정규, 이창현(2004). “수리학적 홍수추적 모형을 이용한 한강하류부의 조도계수 산정.” 대한토목학회논문집, 제 24권, 제1B호, pp.25-32.