

한강하류부 지천의 유입량이 한강수위에 미치는 영향 분석

Effect of Tributary Inflow on Downstream Water Level of the Han River

이정규* , 장기환** , 양희성***
Jong Kyu Lee, Ki Hwan Jang, Hee Sung Yang

요 지

한강은 남한 제1의 하천으로 지리적으로 한반도의 중심부에 위치하여 동에서 서로 흐르는 대하천이다. 매년 발생하는 홍수에 대한 한강하류부의 홍수관리는 대단히 중요하다. 본 연구는 한강의 지천유입량이 한강본류 수위에 미치는 영향을 수리학적 홍수추적 모형을 이용하여 분석하였다. 수리학적 홍수추적 모형은 하천의 지형적 특성과 여러인자들을 반영하여 하천의 흐름을 해석하기 때문에 하천에 설치되어 있는 교량, 수중보, 지천유입량, 조도계수 등을 적절히 반영하였을 때 보다 정확한 결과를 얻을 수 있다.

본 연구에서는 1차원 부정류 흐름으로 해석하였으며 미국 NWS(National Weather Service)에서 기존의 DWOPER 모형과 댐파괴 모형인 DAMBRK 모형을 통합하여 개선한 FLDWAV 모형을 사용하였다. 이 모형의 지배방정식은 연속방정식과 운동량방정식으로 구성되어 확장된 Saint-Venant 방정식이고, 수치기법으로는 가중4점음해법을 이용하며, 비선형 연립방정식을 Newton-Raphson 방법으로 해석한다. 모형의 상류경계는 팔당댐 시간 방류량을 하류경계로는 진류수위표 지점의 수위를 이용하였다. 한강하류부에는 많은 지천들이 흘러들어 유입되고 있는데 지천유입량이 한강수위에 미치는 영향을 분석하기 위하여 비교적 유역면적이 큰 왕숙천, 탄천, 중랑천, 안양천 등의 지천유입량을 고려하였다.

2000년과 2001년에 발생한 2개의 실측사상을 FLDWAV 모형을 이용하여 계산된 수위값과 검증해 본 결과 실측수위를 잘 재현하고 있는 것을 알 수 있었다. 검증된 모형을 가지고 동일한 사상에 대해서 지천 유입량을 고려하지 않고 모의를 한 결과 지천유입량을 고려하였을 때와 고려하지 않았을 때의 지천유입량에 대한 수위상승량은 1~5cm 정도로 나타났다. 지천유입량에 의한 수위상승이 어느정도 일어나고 있지만 홍수기간에 이 정도의 수위상승은 한강의 흐름이나 한강하류부에 설치된 구조물의 침수피해에 크게 영향을 주지 않을 것으로 판단되었다. 한강하류부의 수위는 지천유입량의 영향보다는 팔당댐의 방류량에 의해서 좌우되고 있고 홍수시에는 한강의 수위상승으로 인하여 지천에 미치는 배수영향이 훨씬 더 클 것으로 판단된다.

핵심용어 : 수리학적 홍수추적 모형, Saint-Venant 방정식, 지천유입량, FLDWAV, 한강수위상승

1. 서 론

한강은 남한 제1의 하천으로 지리적으로 한반도의 중심부에 위치하여 동에서 서로 흐르는 대하천이다. 매년 발생하는 홍수에 대한 한강하류부의 홍수관리는 대단히 중요하다. 한강본류의 수위는 팔당댐 방류량에 의

* 정회원 · 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수 · E-mail :leejk@hanyang.ac.kr

** 정회원 · 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정 · E-mail : zestjang@ihanyang.ac.kr

*** 정회원 · 제일엔지니어링 수자원부 · E-mail : yhs0709@hanmail.net

해 조절되고 있지만 한강분류에는 여러 지천들이 유입되어 들어오기 때문에 각 지천들의 유입량이 한강수위에 얼마만큼의 영향을 끼치는지에 대한 분석이 한강의 홍수관리에 있어 중요하다. 본 연구에서는 한강수위에 영향을 주는 팔당댐 방류량, 교량, 수중보, 지천유입량, 조도계수등을 고려하여 FLDWAV 모형에 적절히 적용하고, 이를 통하여 지천유입량을 고려하였을 때와 고려하지 않았을 때의 수위를 비교하여 보았다. 본 연구의 목적은 수리학적 홍수추적모형을 이용하여 지천유입량이 한강하류부의 수위에 미치는 영향을 분석하여 홍수시 적절한 대책을 수립하는데 목적이 있다.

2. FLDWAV 모형

본 연구에서는 한강의 흐름을 1차원 부정류 흐름으로 해석하였으며 미국 NWS(National Weather Service)에서 기존의 DWOPER 모형과 댐과괴 모형인 DAMBRK 모형을 통합하여 개선한 FLDWAV 모형을 사용하였다. 이 모형은 상류와 사류가 혼합된 흐름에서의 해석도 가능하며, 댐의 붕괴로 인한 홍수파의 흐름 해석과 하천제방의 붕괴 또는 월류에 따른 해석 및 측정된 자료를 통하여 조도계수를 자동보정하는 기능을 가지고 있다. 지배방정식은 연속방정식과 운동량방정식으로 구성된 식(1)과 식(2)의 확장된 Saint-Venant 방정식이다. FLDWAV 모형에서는 불규칙한 자연 하도의 급격한 지형적 변화, 유량 변화 및 경계조건의 변화로 인한 불안정해를 피하기 위하여 지배 방정식인 Saint-Venant 방정식을 유속대신에 유량을 변수로 표시하였다. 수치기법으로는 가중4점음해법(Weighted four point implicit scheme)을 이용하여 차분식을 수립한 후 Newton-Raphson 방법으로 해를 구한다.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial [s_{co}(A + A_0)]}{\partial t} - q = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial (s_m Q)}{\partial t} + \frac{\partial (\beta Q^2 / A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e + S_i \right) + L + W_f B = 0 \quad (2)$$

여기서, Q 는 유량, h 는 수심, A 는 흐름단면적, A_0 는 수로의 저류량을 갖는 횡단면적, s_{co} , s_m 은 h 에 따라 변하는 굴곡 인자를 나타낸다. 또한, x 와 t 는 각각 공간과 시간좌표이며, q 는 단위폭당 횡 유입량을 나타내고, β 는 속도분포에 따른 운동량 보정계수, g 는 중력가속도, S_f 는 마찰경사, S_e 는 수축-확대경사, S_i 는 토석류(Mud/Debris Flows)와 같은 비뉴턴유체의 내적 점성소산과 관련하여 더해지는 마찰경사를 나타낸다. B 는 수위 h 에 대한 흐름 폭, W_f 는 흐름표면에 저항하는 바람의 효과, L 은 횡유입량의 운동량효과를 나타낸다.(NWS, 1998).

3. 모형의 구축

본 연구의 대상 구간은 팔당댐~전류지점의 약 69km이며, FLDWAV모형을 대상구간에 적용하기 위하여 상류경계지점은 팔당댐, 하류경계지점은 전류수위표 지점으로 하여 유량 및 수위, 지천유입량, 수로의 횡단면 측정자료, 내부경계자료등의 입력자료를 수집하였다. 수집된 자료를 이용하여 2000년과 2001년에 발생한 홍수사상을 이용하여 모형을 보정하였고, 구축된 모형을 이용하여 한강하류부에서의 수위를 계산하였다.

3.1 입력자료

본 연구의 대상구간내 하천 단면자료는 총 187개로 한강 수로조사 용역보고서(한강관리사업소, 2000)와 한강하류 하천연안 개발계획보고서(건설부, 1988)를 이용하여 수집하였다. 상류경계조건은 팔당댐의 시간별 방류량 자료를 이용하였고, 하류 경계조건은 전류수위표 지점의 시간별 수위자료를 이용하였다. 모형에 적합

한 조도계수를 산정하기 위하여 한강하류부를 6개구간인 팔당댐~잠실수중보, 잠실수중보~잠수교, 잠수교~한강대교, 한강대교~행주대교, 행주대교~신곡수중보, 신곡수중보~전류구간으로 나누었고 수로단면의 변화가 없다는 전제 하에 조도계수를 유량만의 함수로 보고 FLDWAV 모형내의 수정 Newton-Raphson 방법을 이용하여 쉽고 간편하게 조도계수를 산정하였다.

지천유입량은 한강하류부에 유입되는 지천들 중에서 유역면적과 설계홍수량 등을 고려하여 비교적 규모가 커서 한강수위에 영향이 있을 것으로 판단되는 왕숙천, 탄천, 중랑천, 안양천의 4개 지천의 유입량을 고려하였다. 내부경계조건은 대상구간에는 많은 교량과 수중보가 설치되어 있어 이를 수리학적 모형에 반영하여 해석해야 하지만 실제 모형에는 적용하기는 쉽지 않기 때문에 이에 대한 수위영향을 고려하여 모형에 알맞게 적용하였다. 교량은 교각에 의한 배수효과는 무시하였고 교량의 단면형상만 고려하였다. 또한 대상구간에는 잠실수중보와 신곡수중보가 설치되어 있는데 잠실수중보의 흐름은 하류수심이 작을 때 급변류의 양상을 나타내어 Saint-Venant 방정식을 이용하여 해석할 수 없다. 따라서 이 지점은 수위-유량관계곡선(해양수산부, 2001)을 이용한 내부경계조건으로 처리하였고, 신곡수중보의 경우 조위의 영향을 상당히 받고 있기 때문에 단일 형태의 수위-유량관계곡선은 이용하기 어렵다고 생각되었으며 신곡수중보의 흐름특성을 고려할 때 EL. 2.4m의 고정보가 전 하폭에 걸쳐 있는 단면으로 가정하여 적용하였다.

4. 모형의 검증

모형의 검증을 위하여 2000년과 2001년도에 발생한 2개의 실측사상을 이용하여 한강수위를 계산하였다. 실제 대상구간에는 각 지천에서 유입량이 유입되기 때문에 유입량은 왕숙천, 탄천, 중랑천, 안양천의 수위관측소의 수위를 수위-유량관계곡선식을 이용하여 환산한 후 모형에 입력하여 모의 하였다. 계산수위와 실측수위간의 오차를 최소화 하기 위하여 자승평균방근오차(RMS error)를 이용하였다. 표1은 각 지천의 수위-유량관계곡선식(건설교통부, 2000)을 나타내고, 표 2는 모형검증에 이용된 실측사상을 나타낸 표이며, 그림 1~그림 4는 2000년 8월 31일부터 9월 4일에 발생한 홍수사상과 2001년 7월 13일부터 7월 18일 까지의 홍수사상을 나타내는 그림이다.

표 1. 지천별 수위-유량 관계곡선식

수위관측소명	수 위 범 위	곡 선 식	영점표고(EL.m)	비 고
퇴계원	$0.70 \leq H \leq 1.90$	$Q=152.005(H-0.500)^{3.681}$ $H = h + 1$	21.929	왕숙천
성 남	$2.65 \leq h \leq 4.27$	$Q=0.121(h+0.540)^{5.325}$	9.597	탄 천
중랑교	$0.85 \leq h \leq 1.60$ $1.60 \leq h \leq 3.60$	$Q=108.731(h-0.74)^{2.011}$ $Q=131.186(h-0.86)^{1.446}$	9.170	중랑천
안 양	$0.50 \leq h \leq 1.86$	$Q=192.788(h-0.399)^{0.892}$	16.543	안양천

표 2. 모형검증에 이용된 실측사상

대상기간	모의시간 (hr)	팔당댐 최대 방류량(cms)	RMS오차 평균(m)
2000.8.31~9. 4	114	4,370	0.18
2001.7.13~7.18	121	10,601	0.27

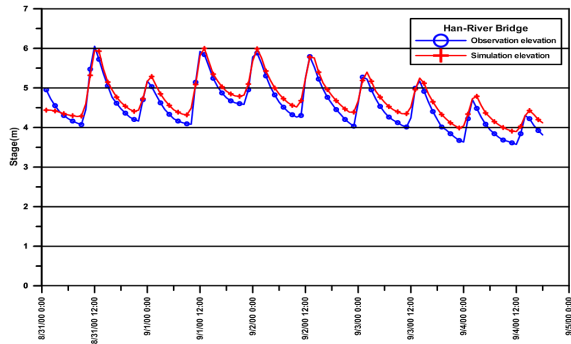


그림 1. 한강대교(2000. 8.31~9. 4)

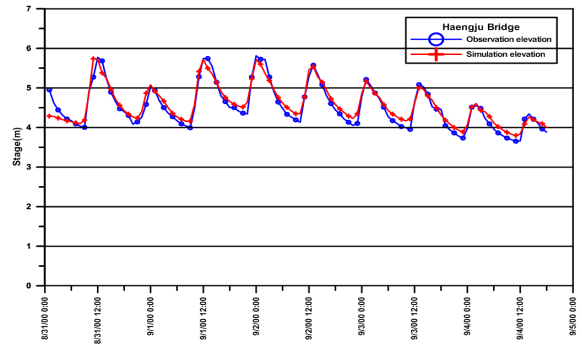


그림 2. 행주대교(2000. 8.31~9. 4)

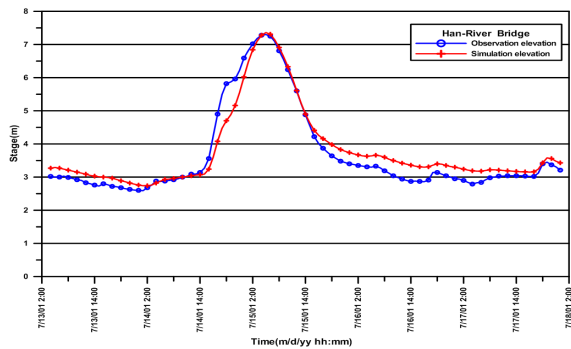


그림 3. 한강대교(2001. 7.13~7.18)

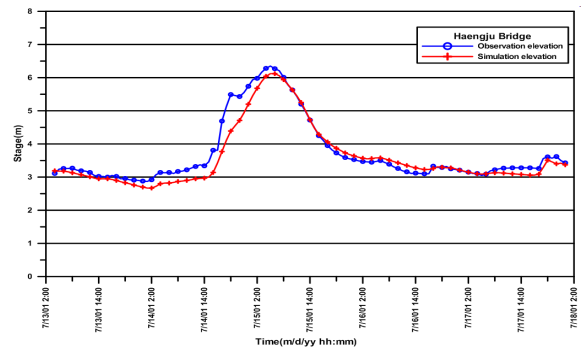


그림 4. 행주대교(2001. 7.13~7.18)

5. 지천유입량이 한강수위에 미치는 영향

왕숙천, 탄천, 중랑천, 안양천 등의 4개의 지천유입량을 고려하여 검증된 모의 결과를 토대로 지천유입량을 고려하지 않았을 때의 한강분류의 수위를 계산하여 비교하여 지천유입량이 한강수위에 미치는 영향을 분석해 보았다. 그림 5 ~그림 8은 한강대교와 행주대교 지점의 지천유입량을 고려하였을 때와 고려하지 않았을 때의 수위를 비교한 그림이다.

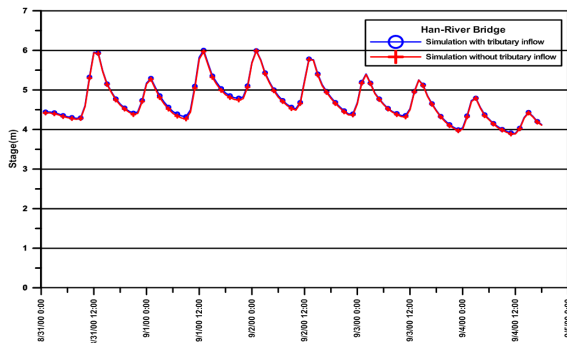


그림 5. 한강대교(2000. 8.31~9. 4)

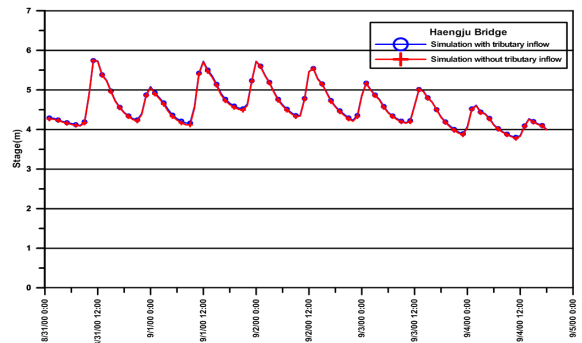


그림 6. 행주대교(2000. 8.31~9. 4)

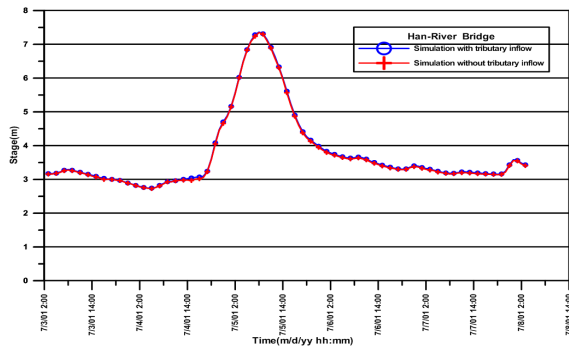


그림 7. 한강대교(2001. 7.13~7.18)

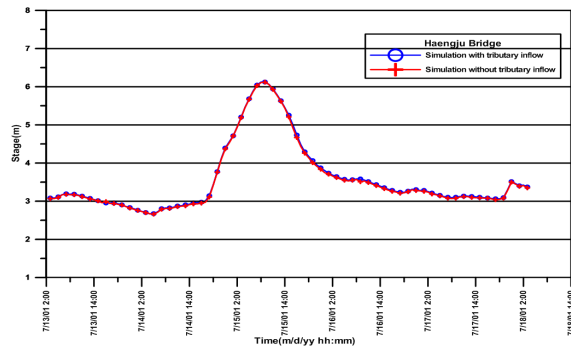


그림 8. 행주대교(2001. 7.13~7.18)

6. 요약

본 연구에서는 1차원 부정류 모델인 FLDWAV를 이용하여 지천유입량이 한강수위에 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. FLDWAV 모형을 이용하여 모의된 수위값은 비교적 실측사상을 잘 재현하고 있는 것을 알 수 있었다.
2. 지천유입량을 고려하였을 때와 고려하지 않았을 때의 한강대교와 행주대교의 수위를 분석한 결과 지천유입량에 대한 수위상승량은 1~5cm 정도로 나타났다. 한강의 유량이 3000m³/s~10,000m³/s 정도 흐르고 있을 때 지천의 유입량은 약 30m³/s~350m³/s 정도의 유량이 유입되는 것을 알 수 있었다. 지천유입량에 의한 수위상승이 어느 정도 일어나고 있지만 홍수기간에 이 정도의 수위상승은 한강의 흐름이나 한강하류부에 설치된 구조물의 침수피해에 크게 영향을 주지 않을 것으로 판단되었다.
3. 한강하류부의 수위는 지천유입량의 영향보다는 팔당댐의 방류량에 의해서 좌우되고 있고 홍수시에는 한강의 수위 상승으로 인하여 지천에 미치는 배수영향이 훨씬 더 클 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이정규, 전세호 (2003). “팔당댐 방류량에 따른 한강변 도로시설물 침수구역 예측.” 2003년도 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 751-754
2. 이정규, 전세호, 장기환 (2003). “홍수발생시 하천구조물로 인한 한강분류 흐름특성 분석.” 2003년도 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 2727-2731
3. 김상호, 김원 (2002). “한강 하류부 흐름해석을 위한 수리학적 모형의 구축.” 한국수자원학회논문집 제 35권, 제 5호, pp. 485-500
4. 건설부 (1988). 한강하류 하천연안 개발계획보고서.
5. 한강관리사업소 (2000). 수로용역조사보고서.
6. 건설교통부 (2002). 한강수계 하천정비 기본계획.
7. National Weather Service (1988). NWS FLDWAV Model. NOAA.