

팔당댐 방류량에 따른 한강변 도로시설물의 침수구역 예측

Prediction of Riverside Highway flooding of Han River due to Paldang Dam Discharge

이정규* · ○전세호**

1. 서 론

한강은 서울을 관통하여 흐르는 남한 제1의 하천으로서 이 지역에 대한 홍수관리는 대단히 중요하다. 그 중 한강변을 따라 남쪽과 북쪽에는 각각 서울을 동서로 관통하는 올림픽대로와 강변북로가 건설되어 있는데, 이 도로들은 홍수 발생시 한강 수위에 의해 구간에 따라 침수가 발생하여 구조물 유실, 교통통제 등의 피해가 일어난다. 본 연구에서는 한강의 수위에 영향을 주는 팔당댐 방류량, 교량, 수중보, 지천유입량, 조도계수 등을 고려하여 FLDWAV 모형에 적절히 적용하고, 이를 통하여 계산된 수위를 올림픽대로, 강변북로의 도로 계획고와 비교하여 침수구역을 예측하여 보았다. 본 연구의 목적은 수리학적인 홍수추적모형을 이용하여 팔당댐 방류량에 따른 한강변 도로시설물의 침수구역을 예측함으로써 홍수시 적절한 교통통제와 도로시설물 보호에 그 목적이 있다.

2. FLDWAV 모형

본 연구에서는 1차원 부정류 흐름을 해석하기 위해서 미국 NWS(National Weather Service)에서 기존의 DWOPER 모형과 댐파괴 모의 모형인 DAMBRK 모형을 통합하여 개선한 FLDWAV 모형을 사용하였다. 이 모형은 실시간 홍수예보를 포함한 배수영향이 고려된 수지형 수계(dendritic river system)의 부정류 해석은 물론, 상류(常流)와 사류(射流)가 혼합된 흐름에서의 해석도 가능하며, 댐의 붕괴로 인한 홍수파의 흐름해석과 하천계방의 붕괴 또는 월류에 따른 범람해석이 가능하고, 특히 측정된 수위자료를 이용하여 조도계수의 자동보정이 가능한 특징을 가지고 있다. 지배방정식은 연속방정식과 운동량방정식으로 구성된 식(1)과 (2)의 확장된 Saint-Venant 방정식이고, 수치기법으로는 가중4점음해법(Weighted four point implicit scheme)을 이용하며, 비선형 연립방정식을 Newton-Raphson 방법으로 해석한다.

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

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

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 수로를 따른 직선 거리당 측방 유입량(inflow-positive) 또는 유출량(outflow-negative)을 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 수면높이 h 에 대한 흐름 폭, W_f 는 흐름표면에 저항하는 바람의 효과, L 은 횡유입량의 운동량효과를 나타낸다(NWS, 1998).

* 한양대학교 공과대학 도시건설환경공학과군 교수(E-mail:leejk@hanyang.ac.kr)

** 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정(E-mail:jsh55@ihanyang.ac.kr)

3. 모형의 구축

본 연구의 대상구간은 팔당댐~전류지점의 약 69km이며, 이 구간 내에서 한강으로 유입되는 지천중 비교적 유역면적이 큰 왕숙천, 탄천, 중랑천, 안양천의 4개 지천에서의 유입량을 고려하였다. 선정된 FLDWAV모형을 대상구간에 적용하기 위하여 입력자료를 수집하였고, 입력자료로는 상류 및 하류 경계에서의 유량 및 수위, 수로의 횡단면 측량자료, 내부경계자료가 있다. 수집된 자료를 이용하여 2000년~2002년의 과거 홍수사상을 이용하여 모형을 보정하였고, 구축된 모형을 이용하여 한강본류에서의 수위변화를 알아보았다.

3.1 모형 입력자료

본 연구의 대상구간내 하천 단면자료는 총 187개로 한강 수로조사 용역보고서(한강관리사업소, 2000)와 한강하류 하천연안 개발계획보고서(건설부, 1988)를 이용하여 수집하였다. 상류 경계조건은 팔당댐의 시간별 방류량 자료를 이용하였고, 하류 경계조건은 전류지점에서의 수위자료를 이용하였다. 대상구간 내에는 내부 경계가 되는 많은 교량과 수중보가 있어 이를 수리학적 모형에 반영하여 하천흐름을 해석하여야 하지만 실제로 모형에 적용하기는 쉽지 않기 때문에 이에 대한 수위영향을 고려하여 모형에 알맞게 적용하였다.

우선 교량은 교각에 의한 배수효과는 무시하였고 교량의 단면형상만 고려하였다. 또한 한강에 건설되어 있는 잠실수중보는 총 길이가 873m이며, 고정보의 길이가 650.5m, 높이는 EL. 6.2m로 이 지점에서의 흐름은 하류수심이 작을 때 급변류의 양상을 나타내어 FLDWAV모형의 지배방정식인 Saint-Venant 방정식으로 해석할 수 없다. 따라서 이 지점은 수위-유량관계곡선(해양수산부, 2001)을 이용한 내부경계조건으로 처리하였고, 신곡수중보의 경우에는 높이가 EL. 2.4m로 잠실수중보에 비해 높지 않고, 조위의 영향을 상당히 많이 받고 있기 때문에 단일형태의 수위-유량관계곡선을 얻기가 힘들다. 따라서, 신곡수중보의 경우에는 EL. 2.4m의 고정보가 전 하쪽에 걸쳐 있는 단면으로 적용하였다.

각 지천에서 한강으로 유입되는 유량은 팔당댐 하류의 한강본류로 유입되는 지천들중에서 유역면적과 설계홍수량 등을 고려하여 비교적 규모가 커서 한강 수위에 영향이 있을 것으로 판단되는 왕숙천, 탄천, 중랑천, 안양천의 4개 지천을 선별하였다. 지천 유입량의 결정은 팔당댐 방류량이 15,000cms일 경우에는 팔당댐 방류량과 지천유입량의 상관관계를 분석하여 적절한 값을 택하였고,

표 1. 팔당댐 방류량에 따른 지천유입량 [단위:cms]

팔당댐방류량 지천유입량	15,000	20,000	23,000	26,000	28,000
왕숙천	282	1,012	1,450	1,910	2,250
탄천	579	1,117	1,440	1,810	2,090
중랑천	310	968	1,363	1,657	1,878
안양천	111	915	1,398	1,743	2,003

23,000cms와 26,000cms, 28,000cms는 각각 20년, 50년, 100년 빈도의 홍수량임으로 지천에서도 같은 빈도의 홍수량이 유입되는 것으로 하였다. 표 1은 팔당댐 방류량에 따른 지천유입량을 나타내고 있다. 모형에 적합한 조도계수 산정을 위하여 한강하류부를 6개구간인 팔당댐~잠실수중보 구간, 잠실수중보~잠수교 구간, 잠수교~한강대교 구간, 한강대교~행주대교 구간, 행주대교~신곡수중보 구간, 마지막으로 신곡수중보~전류 구간으로 나누었고, 시행착오에 의한 반복계산으로 복잡하고 시간이 오래 걸리는 단점을 보완하고자, 수로단면의 변화가 없다는 전제 하에 조도계수를 유량만의 함수로 보고 FLDWAV 모형내의 수정 Newton-Raphson 방법을 이용하여 쉽고 간편하게 조도계수를 구하였다.

4. 모형의 검증

모형의 검증을 위하여 2000년, 2001년, 2002년 중 발생한 5개 실측자료를 이용하여 한강수위를 계산하였다. 사용된 과거 실측자료는 가능한 한 모든 유량 범위에 대한 보정이 될 수 있도록 팔당댐 최대방류량이 4,370cms에서부터 22,061cms에 이르기까지 다양하게 선정하였으며, 계산수위와 실측수위간의 오차를 최소화하기 위하여 자승평균평방근오차(RMS error)를 이용하였다. 표 2는 모형검증에 이용된 실측사상을 나타낸 표이며, 그림 1~그림 4는 2002년 8월 6일부터 8월 11일에 발생한 홍수사상을 나타내는 그림이다.

표 2. 모형검증에 이용된 실측사상

대상기간	모의시간(hr)	팔당댐 최대 방류량(cms)	RMS오차 평균(m)
2000. 7.21 ~ 7.26	121	5,185	0.19
2000. 8.31 ~ 9. 4	114	4,370	0.18
2001. 7.28 ~ 8. 3	165	7,099	0.19
2001. 7.13 ~ 7.18	121	10,601	0.27
2002. 8. 6 ~ 8.11	144	22,061	0.29

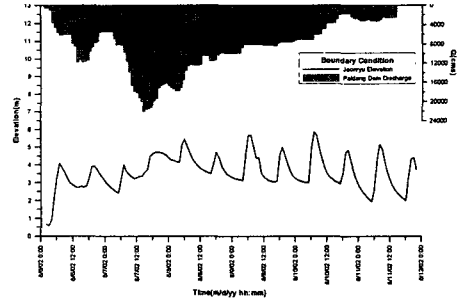


그림 1. 상·하류 경계조건(2002.8.6~8.11)

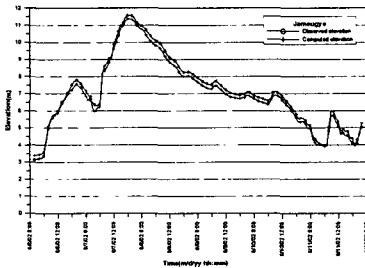


그림 2. 잠수교(2002.8. 6~8.11)

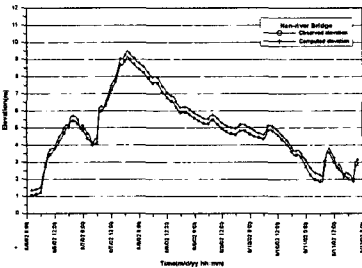


그림 3. 한강대교(2002.8. 6~8.11)

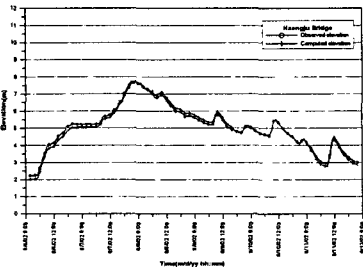


그림 4. 행주대교(2002.8. 6~8.11)

5. 한강변 도로시설물 현황 및 모의 결과

올림픽대로는 한강종합개발사업의 일환으로 1982년 9월에 착공하여 1986년 9월 완공까지 만 4년의 공사기간이 소요되었으며, 도로 구간은 행주대교에서 암사동까지 총 연장 36km이다. 그 후 교통체증 해결을 위해 기존의 4차선구간을 8차선으로 확장하였다. 강변북로는 행주대교에서 토평리까지 총 연장 37.9km로서, 올림픽대로와 마찬가지로 서울을 동서로 관통하여 동으로는 영동 각 지역과 판교~구리 고속도로를 거쳐 중부고속도로, 영동고속도로, 중앙고속도로 등과 연결되며, 서쪽으로는 김포공항, 인천, 일산 신도시, 경인고속도로, 통일로 등과 연결된다.

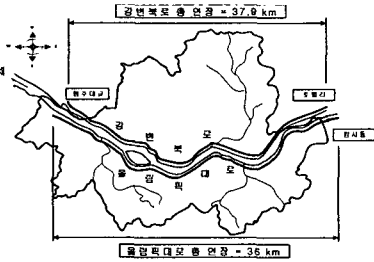


그림 5. 한강변 도로 위치도

팔당댐방류량에 의해 모의된 한강에서의 홍수위를 올림픽대로 및 강변북로의 도로계획고와 비교하여 각 홍수 규모에 따른 도로의 침수구역을 조사하였다. 올림픽대로와 강변북로의 도로계획고는 서울시 수치지형도(1:1,000)를 이용하였으며, 상류경계조건인 팔당댐 방류량을 15,000cms~28,000cms까지 증가시켜 모의 하여 보았다. 그림 6과 그림 7은 각각 강변북로와 올림픽대로에서의 침수도를 나타낸다.

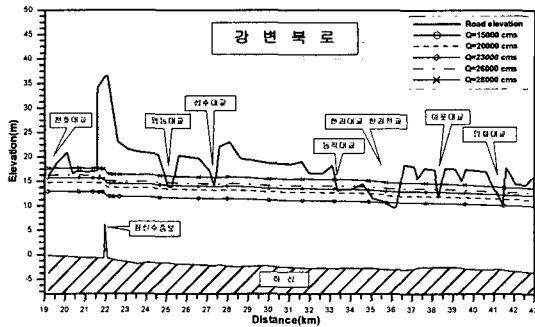


그림 6. 강변북로 침수도

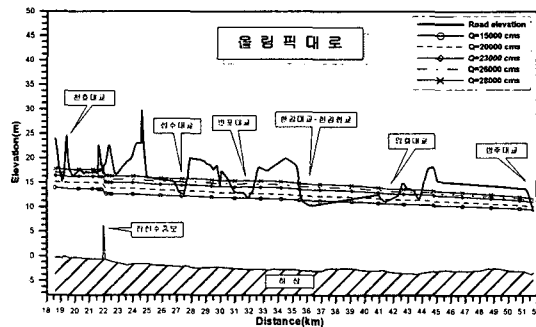


그림 7. 올림픽대로 침수도

표 3과 표 4는 각각 팔당댐 방류량에 따른 강변복로와 올림픽대로에서의 침수구역으로서 교량구간을 중심으로 간략하게 정리하여 보았다.

표 3. 강변복로의 유량별 침수 예측구역

팔당댐 방류량(cms)	침 수 구 역
15,000	한강대교~한강철교 구간
20,000	마포대교 부근, 양화대교 부근
23,000	영동대교 부근, 동작대교~한강대교 구간
26,000	성수대교 부근, 천호대교 부근
28,000	올림픽대교~잠실철교 구간

주) 추가로 침수되는 구역만 작성(중복구간 제외)

표 4. 올림픽대로의 유량별 침수 예측구역

팔당댐 방류량(cms)	침 수 구 역
15,000	한강대교~한강철교 구간
20,000	성수대교 부근, 반포대교 부근, 여의도 노들길 구간
23,000	광진교 부근, 당산철교 부근, 안양천 합류지점, 행주대교 부근
26,000	올림픽대교~잠실철교 구간, 잠실대교 부근, 한남대교 부근
28,000	영동대교 부근, 성산대교~안양천 합류지점 구간

주) 추가로 침수되는 구역만 작성(중복구간 제외)

6. 결 론

본 연구에서는 1차원 부정류 모델인 FLDWAV를 이용하여 팔당댐 방류량에 따른 한강변 도로시설물(강변복로, 올림픽대로)의 침수구역을 예측하여 보았다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 강변복로와 올림픽대로 모두 팔당댐 방류량이 15,000cms부터 모의를 실시하였으나 한강대교~한강철교 구간은 강변복로, 올림픽대로에서 모두 팔당댐 방류량이 약 14,000cms일때 최초 침수가 발생한 것으로 나타났다.
2. 강변복로침수과정을 살펴보면 팔당댐에서 20,000cms가 방류될 때 한강대교~한강철교 구간을 포함하여 마포대교, 양화대교 부근이 먼저 침수가 되었으며, 26,000cms의 방류량에서는 성수대교, 천호대교 부근이, 28,000cms에서는 올림픽대교~잠실철교 부근이 침수가 되는 것으로 나타났다.
3. 올림픽대로의 침수과정을 살펴보면 팔당댐에서 20,000cms가 방류되었을 때 여의도 노들길 구간과 반포대교 부근도 침수가 시작되었으며, 26,000cms에 이르러서는 올림픽대교~잠실철교 구간, 한남대교 부근이, 28,000cms에서는 영동대교 부근과 성산대교~안양천 합류지점 구간이 침수가 되는 것으로 나타났다.

7. 참고문헌

1. 이정규, 이창현 (2002). "팔당댐 방류량과 황해의 조위에 따른 한강수위 영향분석." 2002년도 대한토목학회 학술발표회논문집, pp. 644-647
2. 황의준, 전경수 (1997). "한강 본류에 대한 부정류 계산모형:모형의 보정." 한국수자원학회지, 제30권, 제5호, pp. 549-559
3. 건설부 (1988). 한강하류 하천연안 개발계획보고서.
4. 한강관리사업소 (2000). 수로용역조사보고서.
5. 해양수산부 (2001). 한강·임진강 유역에 대한 조위영향 연구.
6. National Weather service (1998). NWS FLDWAV Model. NOAA.