

수리학적 인자에 의한 한강에서의 홍수위 영향 분석

Effect of Flood Stage by Hydraulic Factors in Han River

이 을 래* / 김 원** / 김 상 호***
 Lee, Eul Rae / Kim, Won / Kim, Sang Ho

Abstract

In this study, a flood routing model is used for analyzing change of flood stage induced by various factors. The results by using the past cross section measurement data showed the minimum error in case of accurate measurement of cross section as well as reasonable boundary condition of model. In analyzing the rise of flood stage of main stream considering inflow magnitude of tributary, it showed that the larger the flow magnitude is, the smaller the variance of stage is. The results of analysis in the tidal effect at Wolgot are that the tidal effect influence the stage profile into upstream in case of normal discharge of main stream and tributary but doesn't influence it even with maximum flood tide in case of project flood. Finally, when the various hydraulic factors are considered in numerical analysis, more systematic and realistic flood forecast system is able to be performed.

Keywords : flood routing model, flood stage, tidal effect, flood forecast

요 지

본 연구에서는 여러 가지 요인에 의해 발생하는 홍수위의 변화를 분석하기 위해서 홍수추적모형을 이용하였다. 과거 측량된 하상단면자료를 이용하여 모의수행한 결과 합리적인 경계조건 뿐만 아니라 당시의 하상단면에 대한 정확한 측량이 이루어진 경우에 가장 작은 오차를 발생하였다. 지류의 유입규모에 따른 본류부의 수위 상승 효과를 분석한 결과 본류 및 지류의 유량규모가 커질수록 잠수교 및 한강대교에서의 수위변화량이 상당히 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 한강하류부 월곶에서 발생하는 조위의 영향에 대한 분석결과 본류 및 지류에서 평상시 유량규모의 경우에는 하류단의 조위의 영향이 상류부로 영향을 미치고 있었으나 계획홍수량의 경우에는 최대만조위가 발생하더라도 운동량의 영향에 의해서 상류부로 영향을 미치지 않고 있었다. 이와 같은 다양한 수리학적 요인에 의한 홍수위 변화량을 분석함으로써 좀 더 체계적이고 실제적인 홍수예경보를 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 홍수추적모형, 홍수위, 조위영향, 홍수예경보

1. 서 론

홍수로 인한 피해를 최소화하기 위해서는 하천에서의 흐름특성에 대한 정확한 조사 및 분석이 필수적이

다. 홍수피해방지를 위한 비구조적 대책의 일환으로 구축되는 홍수예경보시스템은 홍수관리 중 홍수피해예방의 한 수단으로서 컴퓨터와 통신기술의 발달로 현재는 온라인 시스템을 이용하여 홍수시의 하천의 유황을

* 한국수자원공사 물관리센터 선임연구원
 Senior Researcher, Water Resources Operations Center, KOWACO, Daejeon, 306-711, Korea
 (e-mail: erlee@kowaco.or.kr)
 ** 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원
 Research Fellow, Water Resource Research Dept. KICT, Koyang, Kyeonggi, 411-712, Korea
 *** 상지대학교 이공과대학 건설시스템공학과 조교수
 Assistant Prof. Dept. of Civil Eng., Sangji Univ., Wonju 220-702, Korea

실시간으로 파악하는 것이 가능하게 되었다. 또한 이 시스템을 효율적으로 활용한다면 비홍수기의 하천유황을 파악하여 효율적인 저수관리가 가능하게 되므로 우리나라도 이러한 개념의 시스템의 도입이 절실한 상황이다.

우리나라에서는 홍수예보를 위해 지금까지 저류함수법을 이용해왔다. 이러한 저류함수법은 일본에서 개발한 수문학적 홍수예측방법으로서 비교적 단순하고 복잡한 계산을 필요로 하지 않으며 과거에 누적된 홍수자료로부터 필요한 정보를 통계적 방법으로 구하게 된다. 따라서 실제하천의 흐름이나 시간에 따라서 변화하는 실시간 하천의 흐름상황을 제대로 반영하는 것이 곤란하다. 그러나 수리학적 모형은 하천의 흐름방정식을 수치계산에 의해 해석을 수행하며 하천의 지형자료와 당시의 시간에 따른 수리학적인자들이 입력이 되기 때문에 실제하천의 현상을 그대로 반영하게 된다.

최근에 와서는 홍수시 하천범람, 하천주변 구조물의 침수 등에 대한 관심이 급증하고 있으며 이를 위해서 수리학적 모형을 이용하게 되면 사용자가 원하는 지점의 홍수량에 따른 수위를 계산할 수 있기 때문에 하천의 홍수예정보를 위한 관리에 적합하게 된다.

현재 한강에서는 많은 지류들이 본류로 유입이 되고 있으며 이러한 지류의 유량규모에 의해서 한강본류에서는 수위변화에 많은 영향을 받게 된다. 서울시에서 유입되는 지류는 고덕천, 성내천, 탄천, 중랑천, 반포천, 봉원천, 홍제천, 안양천 등 약 8개의 지류가 유입이 되고 있으며 한강 하류부에 위치한 임진강 등이 있게 된다. 이러한 지류에 의해서 한강 본류에서는 유량의 증가로 인한 특정지점의 수위가 증가하게 되며 지류에서의 유입량에 따른 변화에 의해서 본류에 미치는 수위의 변화가 상당히 다르게 작용할 것이다. 또한 서해에서 발생하는 조위의 영향으로 인하여 본류 및 지류에서도 상당한 수위변화가 발생하게 된다. 본 연구에서는 이러한 지류들의 다양한 유량규모에 따라서 본류부에 어떠한 영향을 미치는지에 대해서 검토하고 팔당댐 및 지류의 유입량에 대한 수위변화의 상관관계를 검토하였다. 특히 하천흐름을 모의하는데 가장 기본적이고 중요한 인자로서 지형자료의 입력과정이 필요하게 되는데 홍수예측을 위해서는 당시의 하상자료가 절대적인 요인이 될 수가 있다. 정확한 경계조건의 입력과 함께 당시의 하상자료가 수반이 되어질 때 홍수예측은 좀 더 실제적이고 정확한 값을 도출할 수 있게 되는데 이에 대한 사항들을 분석하였다.

하천에서의 부정류에 관한 연구는 Saint-Venant에 의한 1차원 방정식의 도입과 컴퓨터의 발달에 의해서

본격적인 연구가 이루어 졌다. 하천의 홍수추적에 관한 수리학적 연구로는 Amein과 Fang(1970)의 유한차분법에 기초를 둔 자연하천에서의 양해법과 음해법에 의한 연구가 있었다. 또한 Liggett와 Cunge(1975)는 Saint-Venant식을 선형화 시키기 위한 기법을 개발하였으며 Fread(1987, 1988)은 동역학적 홍수추적을 위해서 DWOPER와 DAMBRK를 개발하였으며, Fread와 Lewis(1998)는 DWOPER 와 DAMBRK 모형의 기능을 결합시킨 FLDWAV 모형을 개발하여 하도에서의 종합적인 홍수추적을 가능하게 하였다. 국내에서는 이정규 등(2004)이 FLDWAV 모형을 이용하여 팔당댐에서 전류구간에서의 한강하류부의 하천구간별 최적조도계수 산정을 수행하였으며 김원 등(1996)이 1차원 유한차분 모형인 Network를 이용하여 Saint Venant 방정식에서 각 항의 크기를 과거의 홍수사상에 대해서 비교 분석하였다. 또한 윤태훈 등(2000)이 한강하류의 신곡수중보까지의 구간에 대해서 수위 및 유량자료를 Hec-2와 Network, SMS등을 이용하여 한강하류구간에 대한 조도계수의 산정결과와 와점성계수의 산정식등이 제시되었으며 실측수위와 비교를 수행하였다. 전경수(1998)의 폐합형 모형을 이용한 준2차원 홍수범람모형에 관한 연구가 있었으며, 한건연(1987)의 하천에서의 홍수와 해석을 위한 수치모형의 개발, 김상호 등(2002)은 한강하류부에서 발생하는 조위에 의한 홍수파해석을 위해서 DWOPER 모형을 이용하였다. 기존의 연구에서는 홍수가 발생 한 사상에 대해서 하도에서 발생하는 하천의 거동특성을 분석하였으나, 모형의 정확성을 지배하게 되는 수리학적 인자들에 대한 변화양상에 대해서 분석하여 정량적, 정성적인 예측을 할 수 있는 지침을 마련한 사례들은 전무한 실정이다.

본 연구에서는 하상변화, 지류 및 본류의 유입유량규모에 따른 변화, 서해의 조위에 의해 발생하는 지류에서의 변화 양상 등 다양한 수리학적 변화인자들을 적용하여 한강 본류 및 지류에서 발생할 수 있는 수위변화를 분석하였으며 발생 가능한 유량에 대해 정성적, 정량적인 효과분석을 수행하였다.

2. 1차원 홍수추적해석 모형

본 연구에서는 하천의 흐름해석을 위해서 미국 기상청에서 개발된 프로그램인 DWOPER모형을 적용하였다. 본 모형은 D. Fread에 의해 개발된 모형으로서 현재는 댐 붕괴모의를 통한 급격한 홍수와 해석 프로그램인 DAMBRK 모형(Fread, 1988)과 통합되어 FLDWAV 모형으로 널리 사용되고 있다. DWOPER 모형은

Saint-Venant 식의 가중 4점 음해법 유한차분법을 이용하여 수공구조물을 포함한 다양한 조건에서의 부정류 흐름해석을 가능하게 한다. 또한 단일하도 또는 지류를 포함한 하도망을 구성하는 하천에서 실시간으로 홍수파의 흐름해석을 가능하게 한다.

2.1 기본방정식

DWOPER 모형은 부정류의 Saint-Venant 식의 형태를 음해법 유한차분해석에 그 기본을 두고 있다. 홍수파 해석을 위한 Saint-Venant 식은 각각 다음과 같다.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial(A+A_0)}{\partial t} - q_L = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S\right) + L = 0 \quad (2)$$

여기서 x 는 하천의 흐름방향거리, t 는 시간, Q 는 유량, A , A_0 는 각각 흐름단면적과 지류단면적, h 는 수위, q_L 은 측방유출입량, L 은 측방유출입량에 의한 운동량의 영향으로서 $L = q_L V \cos\theta$ 로 표시되며 v 는 유출입량의 유속, θ 는 유출입량의 접선방향과 이루는 각이다. S_f , S_c 는 각각 마찰경사와 단면변화에 따른 손실경사의 항이다.

식 (1), (2)로 구성되는 비선형 대수방정식의 해를 구하기 위하여 반복 계산법의 하나인 Newton-Raphson 방법을 적용하여 해석한다. Newton-Raphson 방법은 2차항 및 고차항의 모든 항들을 무시하는 비선형함수의 Taylor 급수전개이론에서 유도된다. 그 결과로 나타난 계산알고리즘은 식 (3)과 같다.

$$J(x^k)\Delta x = -f(x^k) \quad (3)$$

여기서, x 는 $(Q_1, h_1, \dots, Q_N, H_N)$ 으로 표시되는 미지의 벡터량이며, k 는 계산 반복횟수, $J(x^k)$ 는 x^k 값에 대한 편미분치로 구성되는 Jacobian 매트릭스, $f(x^k)$ 는 x^k 값에 대한 비선형방정식, x^k 는 초기가정값, x^{k+1} 은 $x^k + \Delta x$ 로써 계산에 의하여 개선된 값을 나타낸다. 미지의 유량(Q_i^{j+1}, Q_{i+1}^{j+1})과 수위(h_i^{j+1}, h_{i+1}^{j+1})항을 포함하는 Δx 가 허용한계보다 작을 때 까지 계산을 반복하게 된다.

2.2 DWOPER 모형의 특성

이 모형은 동역학적 모형에 기반을 두고 있어서 하

상경사가 완만하고 배수영향이 큰 하천에 많이 적용되고 있으며, 다양한 내부경계조건을 적용할 수 있어서 댐, 교량 등과 같은 하천구조물이 있는 하도에서도 적용될 수 있는 장점이 있다.

DWOPER 모형은 실시간 홍수예측을 위한 여러 가지 장점을 가지고 있다. 다양한 형태의 상·하류 경계조건을 해석할 수 있고 단면간격이 일정하지 않고 불규칙한 하도 단면에도 적용이 가능하며, 단일 하도 뿐만 아니라 복잡한 하도망에 대해서도 배수효과를 고려하여 해석이 가능하다. 또 바람의 영향, 교량의 영향 등도 고려할 수 있으며 과거의 홍수 자료를 이용하여 구간별, 유량 또는 수위별로 최적 조도계수를 산정할 수 있다. 특히 본 모형은 일차원 부정류 흐름모형으로서 계산결과와 다양성으로 인해 다양한 수리학적 인자들을 적용함으로써 각 인자들이 하도흐름에 미치는 영향을 분석하는 것이 가능하다.

본 모형의 적용을 위해서는 상류단의 경계조건은 하류부로 부터의 역류의 영향을 받지 않는 곳이라야 하며 상류단 경계조건이 시간에 따른 유량일 경우 관측값의 정확한 검증작업이 수반되어야 한다. 하류단의 경계조건으로서는 일반적으로 관측수위의 수위-유량관계곡선이 사용되며, 조위에 의한 영향을 고려하는 것도 가능하다. 또한 조도계수는 일반적으로 유량의 함수가 되며 전체 구간에 대해서 실측자료를 이용하여 유량과 조도계수에 관한 함수관계가 성립되어야만 한다(김상호 등, 2002).

본 연구에서는 이와 같은 사항들을 고려하여 본류로 유입하는 지류들의 영향 등을 분석하는 하도망을 구성하였으며, 다양하게 변하는 상, 하류경계조건에의 경우에 발생하는 하도에서의 수리학적 거동현상을 분석하여 부정류모형이 가지는 장점을 극대화하였다. 또한 본류구간에 존재하는 중요한 인자인 수중보를 고려하여 지류에서의 수위변화를 지배하게 되는 거동을 분석하였다.

3. 수리학적 인자에 의한 홍수위 영향분석

3.1 대상구간의 선정

본 연구에서는 팔당댐에서 월곶까지 91.4km에 해당하는 한강본류부를 선정하였으며 본류에 유입하는 지류로서 왕숙천, 탄천, 중랑천, 안양천, 임진강 등 5개의 지류를 고려하였다. 또한 한강본류부에 대한 단면자료는 2000년 한강 하천정비기본계획을 위해 측량한 자료가 적용되었으며 지류의 단면자료들도 당시 실시된 단면측량자료를 적용하였다(해양수산부, 2001, 2002).

그림 1은 적용대상구간의 하도조건들과 각 지류들의 현황 및 단면개수들을 나타내고 있다.

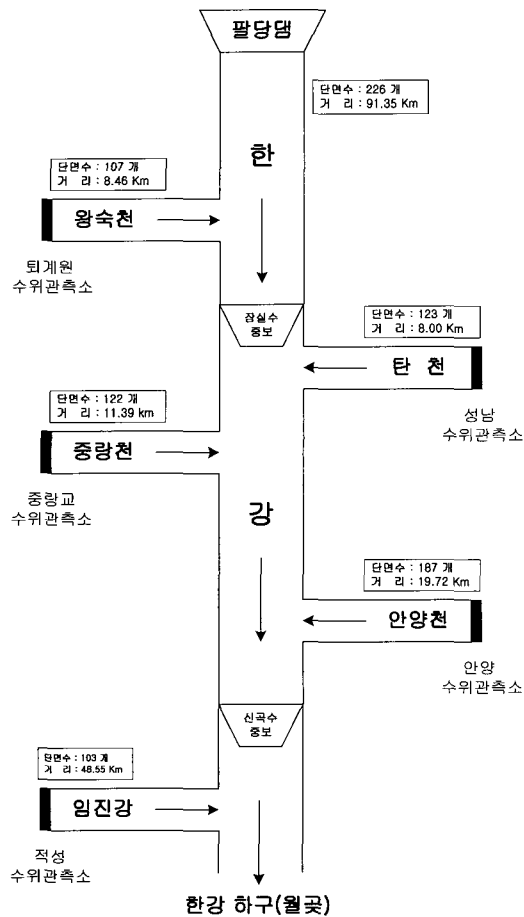


그림 1. 대상구간의 모식도

3.2 하상변동에 따른 홍수위 영향분석

3.2.1 과거하상자료의 구축

하천의 분류 및 지류에서 발생하는 수위의 변화는 하상의 변화에 따라서 많은 영향을 받게 된다. 특히 년도별로 세굴 및 퇴적에 의해 하상이 자주 변화하는 경우는 합리적인 경계조건이 입력이 되더라도 당시의 정확한 하상자료가 입력이 되지 못하면 계산 결과의 불확실성은 항상 내포하게 된다. 본 절에서는 이러한 사항을 고려하여 과거 하상자료를 수집하여 년도별로 동

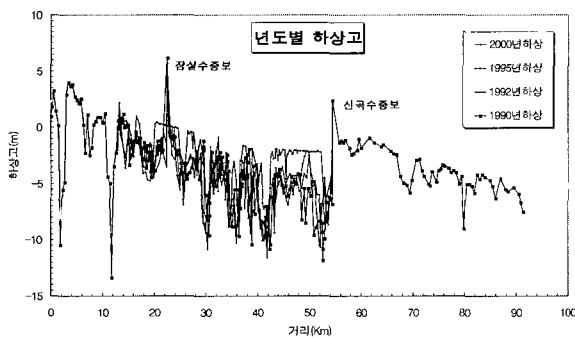


그림 2. 대상구간의 년도별 하상고

일한 조건에서 수리학적 모형을 수행한 후 각 년도별 수위의 변화량을 분석하였다.

본 연구에서는 한강에서의 하상변화에 따른 수위의 변동성을 살펴보기 위해서 과거에 한강유역에서 수행된 한강하도의 측량자료들을 수집하였다. 계산을 위해서는 각 년도별로 실제 측량된 하도의 전 구간에 대한 자료가 요구되어지지만 시행기관과 측량목적의 상이함으로 인해서 대상구간에서의 모든 위치에서 측량이 되어있는 경우는 드물었다. 따라서 2000년도에 수행한 대상구간인 팔당댐~월곶 중에서 각 년도별로 측량이 이루어진 하상자료를 대치해서 적용하였으며 다른 구간은 기존의 2000년도 단면자료를 적용하게 되는데 왕숙천 합류부에서 신곡수 정보까지 42km를 각 년도별로 다르게 대입하였다.

그림 2~3에서 나타난 바와 같이 4개년도(1990, 1992, 1995, 2000년)의 단면자료를 적용하여 모의하였다. 지류인 왕숙천, 탄천, 중랑천, 안양천 그리고 임진강은 해당 년도에 측량된 하상자료를 구하는 것은 실제적으로 곤란하였기 때문에 본 연구에서는 지류에 대한 자료는 2000년 하상자료를 그대로 적용하였다.

본 하도에 적용된 년도별 단면의 개수는 전체 대상구간을 팔당댐지점에서 월곶까지 정의하였을 때 1995년 하도자료는 200개, 1992년 하도자료는 257개, 1990년 하도자료는 265개였다. 2000년 자료는 기존의 자료인 226개의 단면을 적용하였다.

3.2.2 상·하류단 경계조건

하상의 변화에 따른 홍수위 영향분석을 위해 적용된 상·하류단 경계조건은 4개사상에 대해서 홍수기와 비홍수기에 대한 조건을 부여하였다.

적용된 모형의 상류단 경계조건은 팔당댐에서의 대상홍수 사상에 대한 실제 관측된 방류량을 적용하였으며 대상유역에 포함된 각 지류인 왕숙천, 탄천, 중랑천, 안양천, 임진강에서의 상류단 유입 경계조건 또한 각 지류에 위치한 수위관측소의 수위-유량관계곡선과 각 관측소의 수위를 이용하여 유량자료로 환산하여 적용하였다.

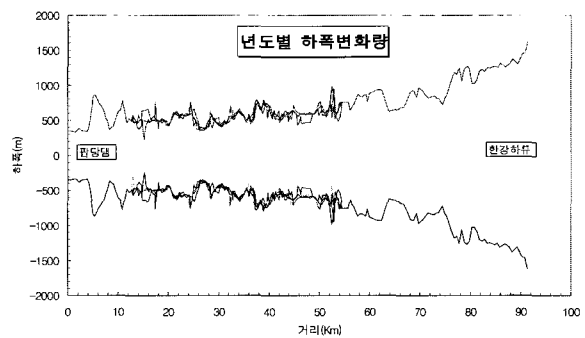


그림 3. 대상구간의 년도별 하폭변화량

하류단의 경계조건은 월곶지점의 조위자료를 경계조건으로 이용하게 되는데 2000년도에는 당시에 관측된 월곶지점의 실측조위자료를 이용하였으며 2000년 이전 자료에서는 인천항의 조위자료를 이용하여 월곶지점의 변환된 예측조위자료를 산출하여 적용하였다(해양수산부, 2001).

본 연구에서 적용된 홍수사상은 표 1에 제시하였다.

3.2.3 과거 홍수 사상별 수위 영향분석

본 절에서는 년도별로 측정된 한강본류의 하도자료에 대해서 홍수기와 비홍수기의 각각에 대한 홍수사상에 대해서 적용하였다. 년도별로 발생한 실제 홍수사상에 대해서 구축된 각각의 하상변동의 변화에 따른 수위값을 계산한 다음 당시의 실측치와 비교하여 하상변동의 변화량이 수위에 미치는 영향에 대해서 분석하였다.

그림 4는 2000년 8월 25일부터 8월 30일까지의 조위자료와 팔당댐에서의 방류량을 고려하여 각 년도별 하상자료를 적용하여 수행하였다. 본 연구에서는 잠수교와 한강대교에서의 수위변화를 검토하였는데 전체적으로 실측치에서 나타나는 수위의 변화양상과 유사하지만 실측치에서의 최고수위보다는 계산치에서 좀더 높게 나타나고 있다. 그러나 시간이 경과하면서 하류단의 조위에 의한 영향으로 나타나는 수위의 변화양상을 잘 반영하고 있으며 계산값도 시간이 경과하면서 실측치와 거의 일치하는 값을 나타내고 있다. 표 2는 각 년도별 실측치와 계산치의 수위값의 전체시간에 대한 잠수교와 한강대교의 RMS 오차값을 나타내고 있다. 표에서 나타

난 바에 따르면 2000년 하도를 적용한 경우는 평균적으로 2000년 홍수사상을 적용한 경우가 오차를 적게 발생하였으며 1995년 하도를 적용하였을때는 2000년의 비홍수기 사상을 제외하고는 1996년 홍수기 사상을 적용하였을 경우가 가장 적은 오차를 발생하였다. 또한 1992년과 1990년 하도를 적용한 경우는 가장 가까운 홍수사상인 1996년 홍수사상에서 작은 오차를 유발하였다. 모의수행을 위해서는 정확한 경계조건과 합리적인 매개변수의 입력 또한 중요한 인자이지만 그에 못지 않게 당시의 정확한 하상자료 구축도 오차를 감소시키는 중요한 원인이 되고 있다.

이는 지속적이고 합리적인 측량이 선행이 되어서 좀더 현상을 반영할 수 있는 하상자료가 공급이 되어질 때 좀더 신뢰성 있는 계산을 수행한다고 볼 수 있겠다.

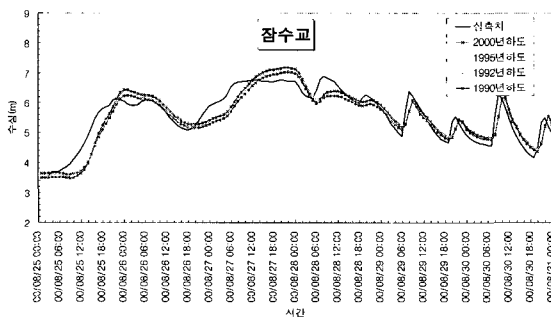
3.3 유량규모별 본류에서의 수위영향분석

3.3.1 상·하류 경계조건

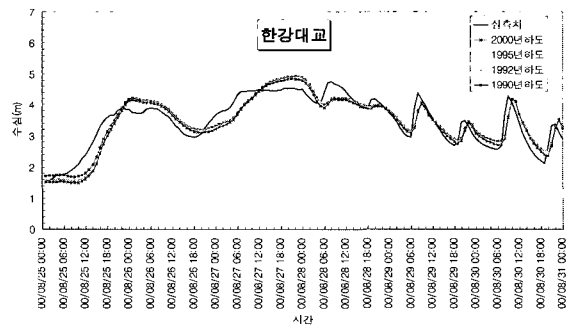
본 절에서는 본류인 팔당댐에서 다양한 유량규모를 지정하여 경계조건으로 적용하며 지류에서도 여러 가지 유량규모를 산정하여 각각을 조합하여 모형을 수행함으로써 본류 및 지류의 유량규모에 따른 수위상승의 영향을 분석하였다. 특히 한강의 홍수위를 판단하는 기준이 되는 잠수교와 한강대교에서의 수위변화량을 분석하기 위해서는 대상지점의 상류에 위치한 왕숙천, 중랑천, 탄천에 대한 지류유입량을 고려하여야만 한다. 그림 5는 이와 같은 적용을 위한 경계조건을 나타낸 것이다. 그림

표 1. 적용된 홍수사상

대상 기간	팔당댐 최대 방류량(cms)	한강대교 최대수위(m)	비 고
2000년 8월 25일 ~ 8월 30일	8,080	6.72	홍수기
2000년 8월 8일 ~ 8월 10일	820	3.41	비홍수기
1999년 7월 30일 ~ 8월 4일	18,750	10.45	홍수기
1996년 7월 26일 ~ 7월 29일	12,590	8.75	홍수기



(a) 잠수교



(b) 한강대교

그림 4. 년도별 하상변화에 따른 수위변화(2000년 8월 25일 사상)

표 2. 년도별 하도 및 홍수사상별 RMS오차분석

대상하도	위 치	홍수사상별 RMS오차 (전체시간)			
		2000/08/25	2000/08/08	1999/07/30	1996/07/26
2000년하도	잠 수 교	0.367	0.096	0.425	0.331
	한강대교	0.333	0.098	0.537	0.328
1995년하도	잠 수 교	0.365	0.194	0.487	0.345
	한강대교	0.351	0.215	0.528	0.317
1992년하도	잠 수 교	0.374	0.183	0.496	0.371
	한강대교	0.360	0.202	0.565	0.355
1990년하도	잠 수 교	0.364	0.209	0.452	0.357
	한강대교	0.356	0.233	0.496	0.328

에서 나타난 대로 한강 본류부에서의 11가지 경우와 지류유입량 5개의 경우를 조합한 55가지의 경우를 모의 수행하여 잠수교와 한강대교에서의 유량규모에 따른 수위상승효과를 분석하였다. 월곶지점의 하류경계조건은 그림에서와 같이 최대만조위를 2.4m로 지정하였다. 한강본류에서의 정량적인 수위의 변화량을 이용하여 본류와 지류의 유입유량에 의한 수위변화의 상관관계를 분석하였다. 본류 및 지류의 유입유량의 증가량과 수위의 변화량에 대한 상관도는 유량의 변화율에 따라서 수위가 얼마나 증가할 수 있는가를 판단하는 것으로 발생 가능한 유입홍수량에 따라 특정 대상지점에서의 수위의 변화를 예측할 수 있는 근거가 될 수 있다.

3.3.2 유량규모별 수위변화분석

본 연구에서는 홍수위의 영향을 분석하기 위해서 잠수교와 한강대교에서의 변화양상을 주로 검토하였는데 이는 한강 본류의 수위변화에 기준이 되는 지점으로 판단되었기 때문이다. 한강본류부 및 지류에서의 상·하류단의 유입유량규모는 일정하게 지정하였으며 하류단의 경계수위는 최대만조위를 2.4m로 지정을 하였다. 특히 본

연구에서는 잠수교와 한강대교의 하류부에 위치한 안양천과 임진강은 고려하지 않았는데 이는 본류와 지류의 유입에 따른 한강본류에서의 수위변화양상이 주 관심사항이기 때문에 대상지점 하류부에서의 유입유량은 크게 영향을 미치지 못할 것으로 판단되기 때문이며 향후 관심 대상지점이 변경된다면 그에 따른 지류유입만 추가하면 계산상의 어려운 점은 없을 것으로 판단된다.

표 3은 잠수교와 한강대교에서의 본류 및 지류유입별 수위의 증가에 따른 변화양상을 나타낸 것이다. 표에서 나타난 바와 같이 유량이 증가함에 따라 수위의 변화폭이 지속적으로 증가하고 있는 것을 알 수가 있다. 특히 하류부의 최대 만조위를 2.4m로 고려하였기 때문에 월곶지점의 조위에 의한 영향은 잠수교와 한강대교에서는 크게 영향을 미치지 못하고 있었다. 본 연구의 목적은 각 지점별 본류와 지류의 유량규모에 따른 민감도를 분석하는 것이 목적이기 때문에 시간이 경과하면서 발생한 정상상태의 수위를 분석하였다. 표에서 나타나는 바와 같이 본류와 지류에 대한 유량이 증가할수록 대상지점에 대한 수위는 증가하게 되고 이에 따른 본류와 지류의 유

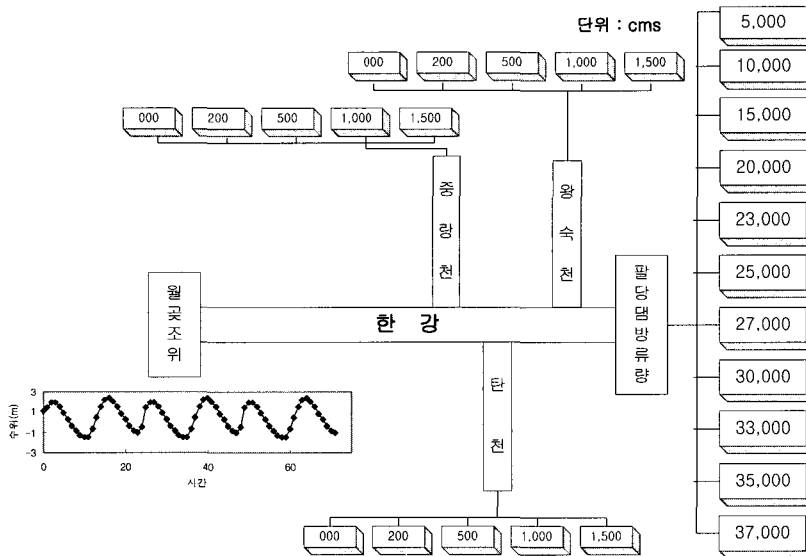


그림 5. 모형적용을 위한 상,하류단 경계조건

표 3. 지류 및 본류의 유입량 변화에 따른 수위변화

본류유량 \ 지류유량		000	200	500	1,000	1,500
5,000	잠수교	4.76	4.96	5.41	6.46	7.45
	한강대교	2.81	3.02	3.44	4.38	5.28
10,000	잠수교	7.72	8.03	8.51	9.02	9.33
	한강대교	5.52	5.82	6.28	6.78	7.07
15,000	잠수교	9.40	9.62	9.96	10.52	11.07
	한강대교	7.16	7.37	7.67	8.19	8.69
20,000	잠수교	11.27	11.43	11.66	12.03	12.39
	한강대교	8.86	9.00	9.21	9.55	9.88
23,000	잠수교	12.03	12.18	12.39	12.63	12.78
	한강대교	9.55	9.69	9.88	10.10	10.23
25,000	잠수교	12.51	12.58	12.68	12.82	12.93
	한강대교	9.99	10.06	10.15	10.27	10.38
27,000	잠수교	12.71	12.77	12.85	12.95	13.04
	한강대교	10.19	10.24	10.31	10.41	10.49
30,000	잠수교	12.94	12.97	13.02	13.08	13.12
	한강대교	10.41	10.45	10.49	10.55	10.59
33,000	잠수교	13.06	13.08	13.10	13.29	13.56
	한강대교	10.55	10.57	10.59	10.77	11.01
35,000	잠수교	13.10	13.21	13.38	13.65	13.91
	한강대교	10.60	10.70	10.85	11.09	11.33
37,000	잠수교	13.47	13.58	13.74	14.00	14.26
	한강대교	10.93	11.03	11.17	11.41	11.64

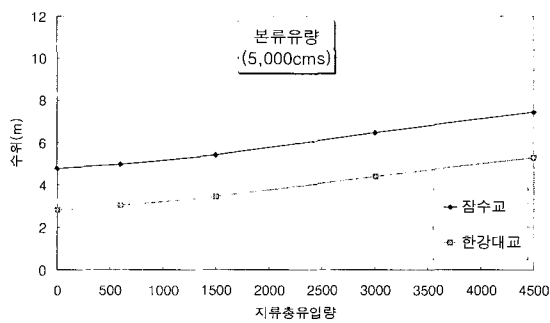
량규모별 지점의 수위변화율을 제시할 필요가 있을 것으로 판단되어지며 그에 대한 분석을 수행하였다.

잠수교와 한강대교에서의 본류의 유량규모별로 지류의 유입량이 증가하면서 지류가 고려되지 않은 경우와 비교하여 수위의 증가치를 나타낸 경우에 대해서 분석을 수행하였다. 표에 나타난 대로 한강본류의 유량이 적은 경우 수위의 증가율이 본류의 유량이 많은 경우에 비해서 훨씬 크다는 것을 알 수가 있다. 이것은 본류유량이 증가할수록 유입유량의 증대에 따른 운동량이 하류방향으로 크게 증가하기 때문에 지류에 의한 수위 상승효과가 많은 영향을 나타내지 못하고

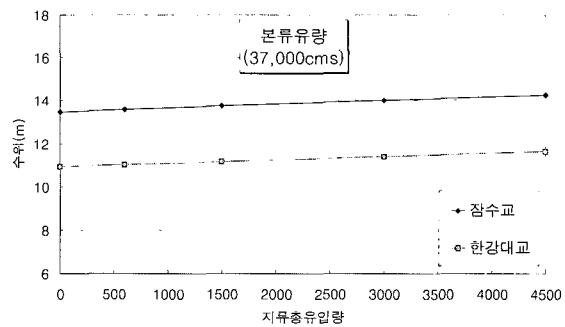
있지만 본류유량이 작아질수록 하류방향으로 흘러가는 흐름에 따른 운동량의 변화는 상대적으로 작아져서 지류에 의한 수위상승영향을 많이 받게 되는 것으로 판단된다.

그림 6은 표 3에 나타난 잠수교와 한강대교에서 본류유량에 대해서 지류의 총 유입에 따른 수위의 변화양상을 도시한 것이다.

그림에서 살펴보면 본류유량이 작을수록 지류유입량이 증가함에 따른 수위의 증가폭이 크며 본류 유량이 클수록 지류유입량이 증가함에 따른 수위의 증가폭이 작아지는 것을 알 수가 있다.



(a) 잠수교



(b) 한강대교

그림 6. 본류 유량규모별 지류변화량에 따른 수위변화

유량규모의 변화율과 수위의 변화율의 상관관계를 확인하기 위하여 다음과 같은 식을 적용하였다. 즉 전체지류유입량에 대한 한강본류의 변화율과 지류유입에 따른 수위변화량에 대한 지류무시한 본류수위의 변화량의 상관성을 비교함으로써 유량변화율과 수위변화율의 변화를 분석하였다. 이를 위하여 다음과 같은 관계를 도입하였다.

$$\frac{\sum Q_{Ti}}{Q_m} \text{ vs. } \frac{\Delta H}{H}$$

여기서 $\sum Q_{Ti}$ = 전체지류유입량, Q_m = 한강본류유량, ΔH = 지류유입에 의한 수위변화량, H = 지류를 무시한 본류의 수위이다. 그림 7은 유량변화율에 대한 수위의 변화율을 나타낸 그림이다. 점선의 기울기값은 1을 나타내고 있는데 전체적으로 그 값을 넘지 못하고 있으며 이는 일정량의 유량에 대한 비율로 하천에 유입이 되더라도 수위는 유량의 변화율보다는 작은 크기로 변화하고 있다는 것을 알 수가 있으며 이는 자연하천이 가지는 하도 형태에 영향을 받는 것으로 판단된다.

3.4 유량규모 및 조위의 영향에 따른 지류에서의 수위영향 분석

본 절에서는 본류로 유입하는 지류의 유량규모와 한강 본류의 하류단인 월곶지점의 조위에 의한 경계조건을 입력하였을 때 조위에 의해 지류에서 발생하게 되는 수위의 변화에 대한 분석을 수행하였다.

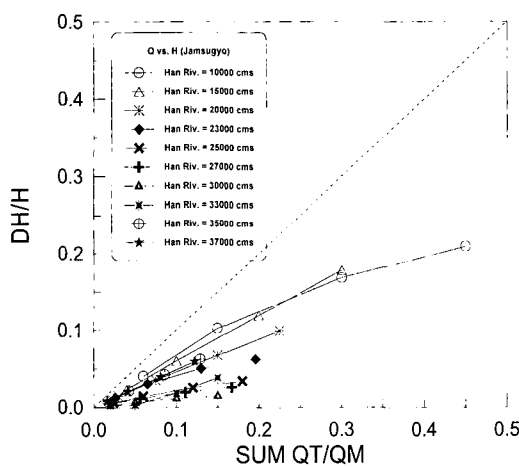
일반적으로 팔당댐에서의 유량규모가 적은 경우는 하류단의 조위의 영향을 본류에서 많이 받고 있으며, 유입유량규모가 큰 경우는 하류단의 조위가 크게 발생

하더라도 상류에서 전파되는 운동량의 영향으로 인해서 본류의 상류부로 조위의 영향이 적게 나타나게 된다(해양수산부, 2001).

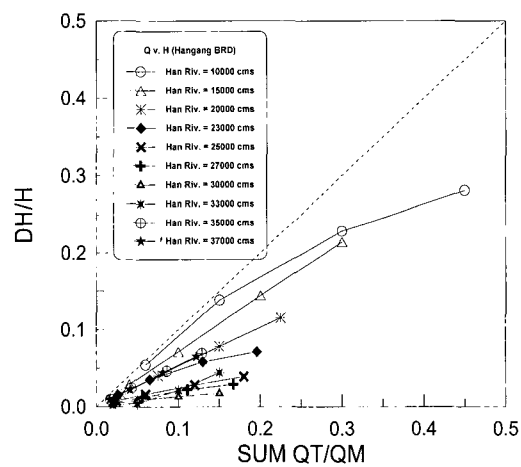
이러한 경향을 지류에 적용하여 지류에서도 이와 비슷한 경향이 나타나는지 분석을 수행하며 지류에서의 다양한 유량규모를 적용함으로써 본류 유량규모에 의한 지류에서의 영향을 검토하였다. 그림 8은 이와 같은 분석을 위한 본류와 지류 및 하류단에 입력되는 경계조건을 나타내고 있다. 모의과정 중 한강하류에 위치한 지류인 임진강에서의 유입유량은 모든 경우에 동일하게 평수기 유량인 200m³/s를 입력하였다. 그리고 특정지류에서의 유입유량에 대한 변화를 고려하는 경우 다른 지류에서는 최소유량인 20m³/s를 지정하였으며 따라서 각 지류에 대해 지정된 유량조건들을 각각 조합하여 12가지 경우를 수행하였다.



그림 8. 조위영향분석을 위한 경계조건



(a) 잠수교



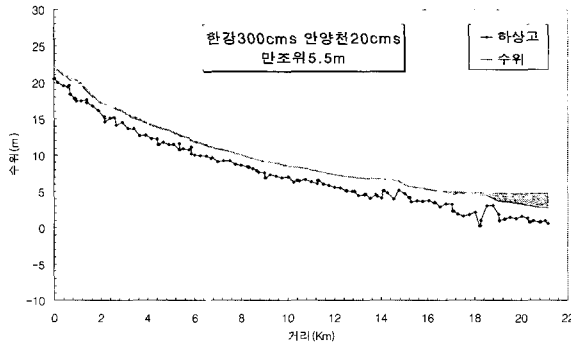
(b)한강대교

그림 7. 지점별 수위 대 유량의 변화율

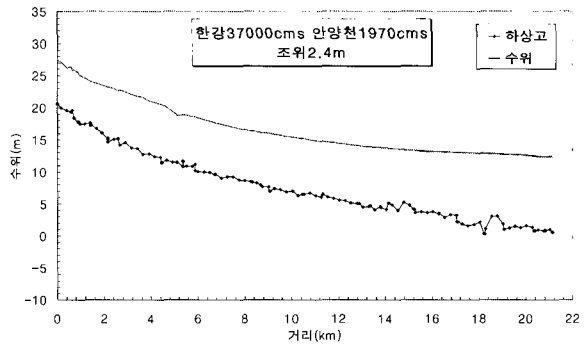
그림 9(a)와 같이 한강과 안양천에서 평상시 방류량이 유하하고 하류단에 5.5m의 최대 만조위가 발생하고 있는 경우는 안양천의 상류에서부터 약 16km떨어진 지점에서 하류부로 5.122km 구간에서 조위의 영향을 나타내고 있다. 시간대별로 수면곡선이 도시된 그림에서 알 수 있듯이 월곶지점의 만조위가 최대 5.5m까지 발생하게 되면 조차는 약 1.66m만큼 발생하게 된다. 따라서 월곶지점의 조위크기에 따라서 안양천에서의 수위변화를 합류점에서 변화시키는 결과를 가져오고 있다. 그림

9(b)는 팔당댐방류량이 최대의 경우와 안양천에서 계획홍수량이 유입되고 있으며 월곶에서의 만조위가 2.4m인 경우를 나타낸 그림이다. 본류 및 지류에서 유입되는 유량이 큰 규모로 유하하고 있기 때문에 운동량의 영향으로 조위에 의해 상류로 전파되는 영향을 상쇄하고 있다.

그림 10~11은 중랑천과 탄천에서의 조위영향을 분석한 그림이다. 본류와 지류에서 평상시 홍수량이 유입되고 하류부의 최대만조위가 5.5m가 발생하는 경우 지류에서의 조위에 의한 영향이 상당히 두드러지게 발생

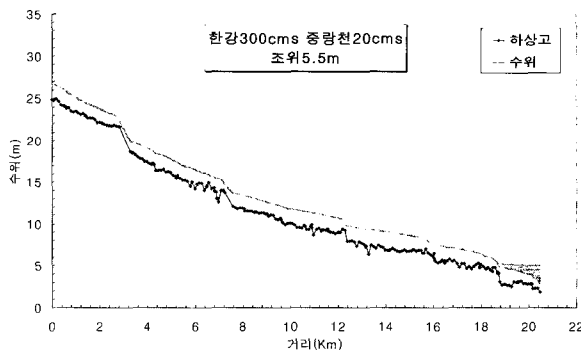


(a) 평시홍수량

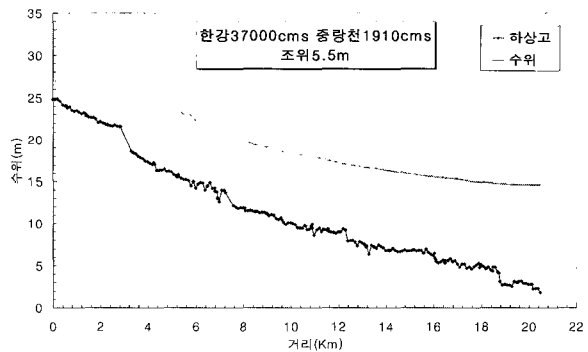


(b) 계획홍수량

그림 9. 안양천에서의 조위영향

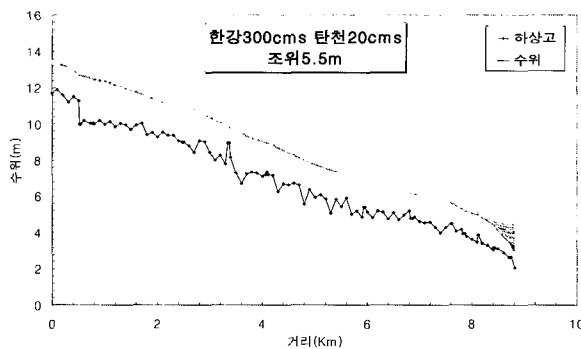


(a) 평시홍수량

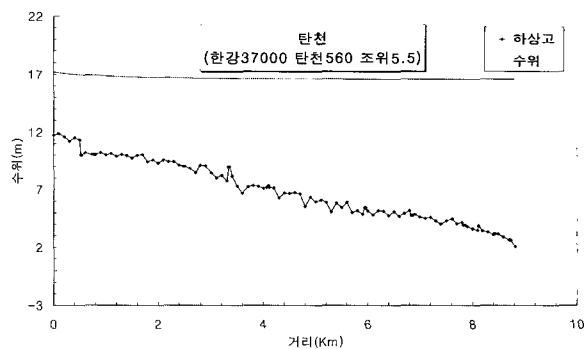


(b) 계획홍수량

그림 10. 중랑천에서의 조위영향



(a) 평시홍수량



(b) 계획홍수량

그림 11. 탄천에서의 조위영향

하였다. 이는 하류에서 발생한 조위의 영향을 감쇠시킬 수 있는 양의 물이 유하하지 않기 때문에 하류쪽에 조위에 의해 시간별 수위의 변화가 발생하고 있는 것이다. 특히 하도 전반에 걸쳐서 하도 특성에 의해 조위의 영향이 상당히 다르게 발생하게 된다. 중랑천은 하도 전반에 걸쳐서 낙차공이 설치되어 있기 때문에 한강본류에서의 수증보의 역할을 하는 경우와 동일하게 낙차공 위로의 조위가 지속적으로 전파되는 것이 곤란할 것으로 판단된다. 중랑천의 경우 최심하상고가 하류단에서 얼마 떨어지지 않는 곳에 급격히 낙차하는 구간이 있기 때문에 본류의 조위에 대한 영향이 그곳까지 발생하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 하상변화, 지류 및 본류의 유입유량규모에 따른 변화, 서해의 조위에 의해 발생하는 지류에서의 변화 양상 등 다양한 수리학적 변화요인들에 의해 한강본류 및 지류에서 발생하는 수위의 거동현상들을 분석하였다. 본 연구에서 도출된 결론은 다음과 같다.

- (1) 하상변동에 따른 홍수위 영향분석을 위하여 대상 구간에서의 각 년도별 하상자료를 수집하였다. 잠수교와 한강대교에서 비교한 결과 2000년에 측정된 하상자료와 당시의 홍수사상을 적용하였을 경우 대체적으로 월곶에서 발생하는 하류단 경계조건이 되는 조위가 실측되어서 적용되는 관계로 실측치와 근접하게 수위양상을 재현하고 있었으나 통상적으로 수리학적 경계조건이 되는 홍수사상과 그 당시의 하상측정이 이루어진 경우에 실측치와의 오차가 상당히 줄어들고 있었다.
- (2) 지류의 유입규모에 따른 한강 본류부에서의 수위 상승효과를 검토하였을 때 전체적으로 본류에서의 유량규모가 작을수록 지류에서 점차적으로 증가하는 유입유량이 적용이 되었을 때 수위의 변화량이 커지며 본류에서의 유량규모가 클수록 지류에서의 유량변화에 대해서 좀 더 작은 수위의 변화양상을 나타내고 있었다. 특히 한강본류에서 계획홍수량인 37,000cms가 유입이 되고 있을 때는 잠수교와 한강대교에서 지류가 유입되지 않았을 때와 비교하여 0.79m와 0.71m의 증가치를 나타냄으로서 유량규모가 커질수록 수위의 변화량이 작아지는 것으로 분석되었다. 특히 한강본류에서의 유량과 수위에 따른 상관관계를 분석한 결과 유량의 변화량에 대해서 수위는 그에 따른 변화율만큼의 변화량을 나타내지 않고 있었다.

(3) 월곶에서 발생하는 조위의 영향으로 인한 지류에서의 영향을 분석한 결과 대체적으로 본류와 지류에서 적은 규모의 유량이 유입되거나 월곶에서 발생하는 최대 만조위가 크게 변화하는 수위양상을 나타내었을 때 지류에서도 조위의 영향을 받고 있었다. 본류 및 지류에서의 평상시 방류량이 유입되고 있는 경우는 최대 만조위가 2.4m가 지정이 되었을 때는 전체적으로 지류에서 조위의 영향이 나타나지 않고 있지만 최대 만조위가 5.5m로 지정이 되었을 때는 한강에서 발생하는 조위에 의한 역행과가 잠실수증보 상류방향으로 진행하고 있는 관계로 각 지류에서도 영향을 받고 있었다.

(4) 본 연구의 결과를 이용하여 한강을 비롯한 주요 하천에서 다양한 수리학적 요인에 의한 홍수위 변화량을 분석함으로써 더욱 체계적이고 실제적인 홍수에경보를 위한 수위변화를 구현할 수가 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 건설교통부 (1997). 수리학적 모형을 이용한 한강상류부 하도의 홍수에측모형 개발.
- 건설교통부 (1998). 한국수문조사연보.
- 김원, 우호섭, 김양수 (1996). "1차원 St. Venant방정식을 이용한 한강 하류부 하도의 홍수류 특성 분석" 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제29권, 제1호, pp. 163-179.
- 김상호, 김원 (2002). "한강 하류부 흐름해석을 위한 수리학적 모형의 구축" 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제 35권, 제5호, pp. 485-500.
- 서울특별시 (1995). 한강수로조사용역보고서.
- 서울특별시 (1992). 서울시 관내 하천제방 안정도 검토 및 치수종합대책수립.
- 서울특별시 (1990). 한강방류통제체계보고서.
- 윤태훈, 이종욱, 제갈선동 (2000). "동수역학모형의 매개변수 산정." 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제33권, 제1호, pp. 39-50.
- 이정규, 이창현 (2004). "수리학적 홍수추적모형을 이용한 한강하류부의 조도계수 산정." 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제24권, 제1B호, pp. 25-32.
- 이종태 (1982). "Preissmann 기법에 의한 1차원 부정류의 해석" 한국수문학회지, 제15권, 제1호, pp.57-62.
- 전경수 (1998). "준2차원 홍수범람모형에 관한 연구." 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제31권, 제5호, pp. 515-528.

한건연 (1987). “하천에서의 홍수파해석을 위한 수치모형의 개발” **한국수문학회지**, 제20권, 제4호, pp. 285-294.

해양수산부 (2001, 2002). **한강·임진강 유역에 대한 조위영향연구 (I), (II)**, 한국해양연구원/한국건설기술연구원.

Amein, M., and Fang, C. S. (1970). “Implicit flood routing in natural channels”, *Journal of the Hydraulic Division*, Vol 96(HY12), 2481-2500.

Fread, D.L. (1987). *National Weather Service Operational Dynamic Wave Model*, National Weather Service, Silver Springs, MD.

Fread, D.L. (1987). *National Weather Service Operational Dynamic Wave Model*, National Weather Service, Silver Springs, MD.

Fread, D.L. (1988). *The NWS DAMBRK model :*

Theoretical background and users documentation, Hydrologic Research Lab., Office of Hydrology, National Weather Service. NOAA, Silver Springs, MD.

Fread, D.L., and Lewis, J.M. (1998). *The NWS FLDWAV Model Quick Users Guide*, NOAA, Silver Spring.

Liggett, J. A., and Cunge, J. A. (1975). “Numerical methods of solution of the unsteady flow equation”, In Mahmood, K., and Yevjevich, V.(eds), *Unsteady flow in Open Channels*, Vol. I. Fort Collins, Colorado : *Water Resources Publications*, chapter 4, pp. 89-182.

(논문번호:04-85/접수:2004.09.08/심사완료:2005.01.11)