

한강 및 임진강의 조위영향분석 Analysis of Tidal Effect on the Han and Imjin River

김 상 호* / 김 원** / 최 흥 식***
Kim, Sang Ho / Kim, Won / Choi, Hung Sik

Abstract

Effects of the West sea tide to the flow of the Han and Imjin river during floods and normal seasons was analyzed by the hydraulic model. Tidal effect diagrams which represent the inter-relationships between flow of two rivers and tide of Wolgot were developed using the results of analysis. At Jamsu and Hangang bridge, the stage rise due to the tide can be reached about 2m at maximum when the discharge of Paldang dam is less than 5,000cms, and the stage rise is very small when the discharge of Paldang dam is more than 15,000cms. In the Imjin river, the stage rise can be reached about 3.5m at maximum when the discharge is below 5,000cms, and can be neglected when the discharge is over 5,000cms.

Keywords : Hydraulic Model, Tide, Tide Effect Analysis, Flood Analysis, Han River

요 지

한강 및 임진강에서 서해안의 조위가 평상시 및 홍수시의 흐름에 미치는 영향을 수리학적 모형을 이용하여 분석하였다. 이를 통하여 한강 및 임진강의 유량과 월곶조위와의 상관관계에 따른 한강과 임진강의 조위영향분석도를 작성하였다. 분석결과 한강 본류부의 잠수교와 한강대교지점에서는 팔당댐의 홍수량이 5,000cms 이하인 경우 서해안의 조위변화에 따라 최대 2.0m 정도의 수위상승이 발생할 수 있으며, 15,000cms 이상이 되면 조위의 영향이 미미한 것으로 나타났다. 임진강의 통일대교에서는 홍수량이 5,000cms 이하인 경우 최대 3.5m까지 수위가 변화할 수 있으며 5,000cms 이상이 되면 조석의 영향이 거의 나타나지 않았다.

핵심용어 : 수리학적 모형, 조석, 조위영향분석, 홍수해석, 한강

* 상지대학교 이공과대학 토목공학과 전임강사
Full-time Lecturer, Dept. of Civil Eng., Sangji Univ., Wonju 220-702, Korea
(E-mail : kimsh@mail.sangji.ac.kr)
** 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 수석연구원
Research Fellow, Water Resources & Environmental Research Div.,
Korea Institute of Construction Technology, Koyang, Kyeonggi 411-712, Korea
*** 상지대학교 이공과대학 토목공학과 부교수
Associate Prof., Dept. of Civil Eng., Sangji Univ., Wonju 220-702, Korea

1. 서론

한강 본류의 흐름은 팔당댐의 방류량, 서해안의 조석, 임진강을 비롯한 여러 지류에서 유입되는 홍수량, 교량이나 수중보와 같은 인위적인 구조물 등 여러 가지 요인들이 작용하여 매우 복잡한 양상을 나타내고 있다. 특히 임진강 하구부를 포함한 한강 하류부의 경우 서해안 조위의 영향을 직접적으로 받는 구간으로 조위의 영향을 고려하여 홍수방어계획을 수립해야 하고, 조위와 홍수량과의 정확한 관계를 바탕으로 홍수 예정보를 실시해야 한다. 서해안 조석의 변화는 한강과 임진강의 수위에 직접 큰 영향을 미치고 있을 뿐만 아니라 흐름방향의 변화, 유량의 지속적 변화, 염수침입 등에도 많은 영향을 미치고 있다. 그러나 지금까지는 실측자료의 부족 등으로 인해 구체적인 분석을 할 수 없었기 때문에 단순화된 가정을 이용하여 왔다. 그러나 최근 증대되고 있는 홍수피해, 하천관리의 중요성 등을 감안할 때 한강하구에서 발생하는 조석의 영향을 분석하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다.

최근에 국내에서는 해안에서 발생하는 조위로 인해 하천의 흐름에 미치는 영향에 관한 연구가 많이 수행되고 있다. 이종태 등(1993)은 한강하구의 조위가 한강 본류의 인도고 지점에서 홍수위에 미치는 영향을 분석한 바 있으나 월곶지점의 조위자료는 인천조위기록을 조고비, 조시차에 의해 환산하여 사용하였다. 박봉진 등(1996)은 폐합형수계 모형을 이용하여 굴포천 유역에서 수공 구조물, 서해의 조위와 홍수량 등을 고려하여 홍수위를 산정하였다. 이주현 등(1998)은 낙동강 하류부의 감조구간에 대해 홍수시 감조구간내의 주요 홍수에 보지점에 대한 조위의 영향을 분석하였다. 김원 등(1998)은 DWOPER 모형을 이용하여 신곡수중보와 잠실수중보를 고려한 한강 본류 및 하구에 대한 흐름특성을 분석한 바 있으며, 김원 등(2001)은 신곡수중보에서 ADCP를 이용한 유량측정을 통하여 조위영향을 고려한 한강 하류부 흐름특성을 분석하였다. 그러나 지금까지 한강 하류부의 흐름특성 분석을 위한 많은 연구가 수행되어 왔으나 실제 한강 하구에서 조위측정을 통한 정확한 조위영향분석을 수행한 연구는 거의 전무한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 한강 및 임진강 하류부의 감조지역에 6개 조위관측시설을 설치하여 측정된 홍수기와 비홍수기 6개월간의 조위자료를 토대로 수리학적 모형을 활용하여 서해안 조위, 한강 유량 그리고 임진

강 유량 등의 상호 영향을 분석하고자 한다.

2. 대상구간에 대한 수리학적 모형의 구축

2.1 모형 구축

하천에서 흐름해석을 위해 수리학적 모형을 구축하는데 있어서 가장 중요한 부분은 하도의 지형자료를 정확하게 반영하는 것이다. 하지만 하천에서 측량된 하도 자료를 모형에 반영하는 과정에서 많은 오차와 불확실성을 내포하게 된다. 일반적으로 하천에서 일차원적 홍수추적을 위해 범용적으로 사용되고 있는 DWOPER 모형을 이용하기 위해 하도의 지형자료를 나타내는 수위-하폭 관계자료를 실측된 하상자료로부터 구할 경우 필요한 자료구축에 상당한 시간과 노력이 요구되는 어려움이 있었다. 본 연구에서는 하상 측량자료를 수작업을 통하여 변환시키는 기존의 방법과는 달리 하도에 대한 중횡단 측량자료인 HEC-2 또는 HEC-RAS 단면자료를 자료의 변경없이 DWOPER 모형의 입력자료로 활용할 수 있도록 개발된 DWOPER-2K 모형(김상호 등, 2000)을 이용하여 수리학적 모형을 구축하였다. 본 모형은 하도구간에서의 홍수추적해석을 위해 Saint-Venant 식에 대한 음해형 유한차분해석을 실시한 것으로 자연하천에 대한 동수역학적 방정식은 식 (1), (2)의 연속방정식과 운동방정식으로 구성된다.

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

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

여기서 x 는 하천의 흐름방향거리[L], t 는 시간[T], Q 는 유량[L³T⁻¹], A , A_0 는 각각 흐름단면적[L²]과 저류단면적[L²], h 는 수위[L], q_L 는 제방을 통한 범람량[L²T⁻¹], L 은 범람량에 의한 운동량의 영향[L³T⁻²]으로서 $L = -q_L V_L$ 로 표시되며 V_L 는 범람량의 유속[L T⁻¹]이다. S_f , S_e 는 각각 마찰경사와 단면변화에 따른 손실경사의 항이다.

본 연구를 위한 대상구간은 한강의 팔당댐에서 월곶까지의 본류구간과 이 구간에 존재하는 왕숙천, 탄천, 중랑천, 안양천, 임진강 등 5개의 주요 지류구간이다. 대상구간에 대한 모식도는 그림 1과 같다. 대상구간에 대한 보다 정확한 하상자료를 적용하기 위해 2000년도에 한강 본류부와 임진강을 비롯한 주요 지류 구간에서

실시된 하천측량성과를 반영하여 흐름계산모형을 구축하였다. 한강 본류부에 대한 하도자료는 그림 1에서와 같이 팔당댐 상류부터 한강 하구인 월곶지점까지 91.35km, 226개의 단면자료로 구성되어 있으며, 5개의 주요 지류에 대해서는 수위관측소를 상류단으로 하여 모형을 구축하였다. 탄천과 중랑천의 경우 과거의 수리학적 홍수예경보 시스템에서는 한강 본류의 홍수위로 인한 배수효과가 수위관측소까지 미친다는 이유로 하도 홍수추적을 하지 않고 본류부로 측방유입이 되는 것으로 고려하였으나 본 연구에서는 소하천의 하천정비를 위해 관측된 단면자료를 이용하여 이들 지류들에 대해서도 홍수추적을 실시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 왕숙천, 탄천은 각각 8.46km, 8.0km로 대상구간의 거리는 상당히 짧으나 측정단면 수는 107개와 123개로 상당히 조밀하게 관측이 되었음을 알 수 있으며, 다른 지류에 대해서도 마찬가지로 상세한 관측자료를 입수하였다.

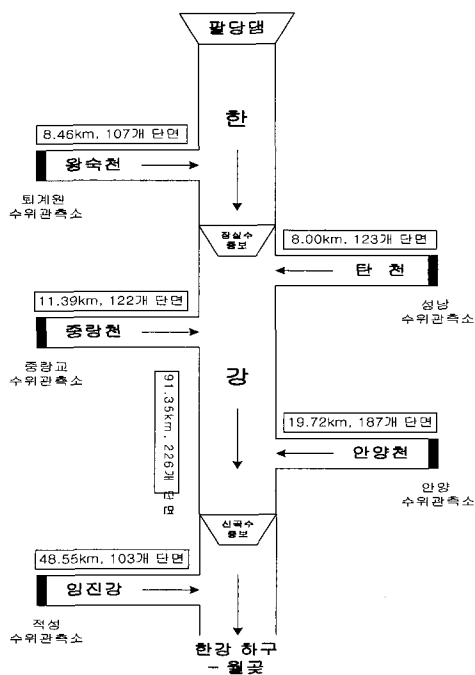


그림 1. 대상유역에 대한 모식도

여기서 한강과 임진강의 하류부는 군사분계선이 위치하고 있는 접적지역이기 때문에 실제 측량작업이 불가능한 상태로 해방이후 하천 단면측량이나 조위측량이 전혀 이루어지지 않은 구간이다. 하지만 이들 하류부

구간은 상류부에서의 홍수파와 하류단의 조석에 따른 흐름의 영향분석에 없어서는 안될 구간이기 때문에 단면가정을 통해서 하도자료를 구축하였다. 이러한 단면 가정은 해양수산부의 국립해양조사원에서 발행하는 한국연안해도를 참고하였다.

2.2 상·하류단 경계조건

본 연구에서 구축된 모형의 경계조건으로 팔당댐에서는 대상 홍수사상에 대한 실제 방류량을 이용하였으며, 왕숙천, 탄천, 중랑천, 안양천, 임진강에서의 상류단 경계조건은 각 지류의 상류에 위치한 수위관측소의 수위관측자료를 수위-유량관계곡선을 이용하여 유량자료로 환산하여 모형에 사용하였다. 임진강의 경우 적성 수위관측소가 조위의 영향을 받기 때문에 적성지점에서 계산된 유량과 동일한 유량이 상류 국가하천 시점에서 유입되는 것으로 가정하였다.

하류단 경계조건은 한강 하류단인 월곶지점에서의 조위자료를 경계조건으로 사용하였다. 지금까지 월곶지점에서의 조위자료는 이 지역이 접적지역이기 때문에 관측시설을 설치할 수 없어서 인천항의 조위자료를 월곶이나 강화대교 지점의 조위로 변환하기 위해 조화분석을 실시하였다(건설교통부, 1997). 본 연구에서는 한국해양연구원에서 2000. 7. 20~2001. 2. 1 사이에 월곶에서 실측한 조위자료(해양수산부, 2001)를 하류단 경계조건으로 이용하였으며, 김상호 등(2002)은 인천항의 조위로부터 변환된 월곶의 조위자료와 실측 조위자료를 비교분석한 바 있다. 한강 하구부에서 실측조위가 없는 기간에 대해서는 인천 조위자료를 변환하여 사용하였는데, 인천항의 조위자료를 월곶지점의 자료로 변환하기 위해 과거 조석분석 결과를 바탕으로 작성된 조석표(국립해양조사원, 2000)에 기록되어 있는 조시차와 조고비를 이용하였다.

2.3 모형의 보정 및 검증

한강 본류와 5개의 지류구간에 대해 구축된 모형의 보정 및 검증을 위해 표 1과 같은 10개의 과거 홍수사상을 사용하였다. 과거 홍수사상 중 한국해양연구원에서 조위관측을 실시한 기간에 해당하는 2000년의 4개 사상에 대해 모형의 보정을 실시하여 입력자료를 구축하였는데 이 과정에서 홍수기뿐만 아니라 팔당댐의 방류량이 200~800cms 정도인 비홍수기 사상에 대해서도 모형을 적용함으로써 평상시 저수위 또는 갈수위에 대한 모형의 정확도를 높였다. 또한 모형에 대한 최적

의 조도계수를 산정하기 위해 한국해양연구원에서 한강 본류의 한강대교, 신곡수중보 상·하, 월곶 그리고 임진강의 리비교(장파리), 통일대교에서 실측한 수위자료와 건설교통부와 서울시에서 운영하는 한강의 주요 관측점에서의 실측 수위자료를 이용하였다(김상호 등, 2002).

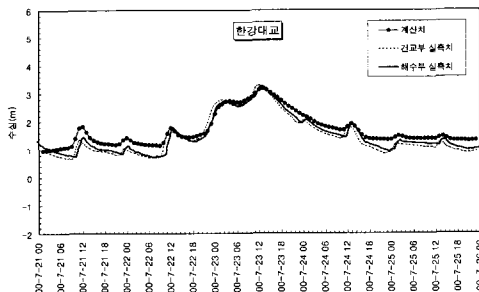
표 1. 모형에 적용된 사상

	대상기간	팔당댐 최대 방류량(cms)	비고
보정	2000년 7월 21일~7월 25일	5,190	홍수기
	2000년 8월 25일~8월 30일	8,080	홍수기
	2000년 8월 8일~8월 10일	820	비홍수기
	2000년 8월 21일~8월 23일	1,890	비홍수기
검증	1999년 7월 30일~8월 4일	18,750	홍수기
	1998년 8월 5일~8월 11일	17,700	홍수기
	1997년 6월 30일~7월 2일	8,070	홍수기
	1997년 8월 3일~8월 5일	6,840	홍수기
	1996년 7월 26일~7월 29일	12,590	홍수기
	1995년 8월 22일~8월 28일	24,960	홍수기
	1990년 9월 9일~9월 13일	31,300	홍수기

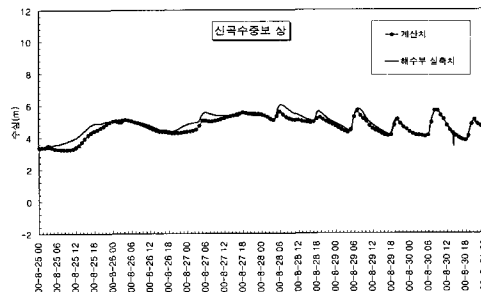
이와 같이 구축된 수리학적 모형에 1999년부터 1995년까지의 홍수사상 그리고 과거 홍수사상 중 팔당댐에서의 방류량이 31,300cms로 가장 큰 규모인 1990년 사상에 대해 모형을 적용함으로써 구축된 모형의 입력자료에 대한 검증을 실시하였다. 그림 2는 모형에 대한 보정결과를, 그림 3에서는 모형에 대한 검증결과를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 보정 및 검증 모두 부분적으로 실측수위를 정확하게 재현하지 못한 부분이 있지만 그 편차는 비교적 미약하게 나타나고 있으며 전반적으로 모형을 통한 계산결과가 관측수위를 잘 재현해내고 있음을 알 수 있다. 그림 3의 전류지점에 대한 계산결과가 실측치와 비교적 큰 편차를 보이는 주요인은 하류경계조건을 월곶 실측치가 아닌 인천 조위자료를 변환하여 사용했기 때문인 것으로 판단된다.

3. 한강 및 임진강에 대한 조위영향 분석

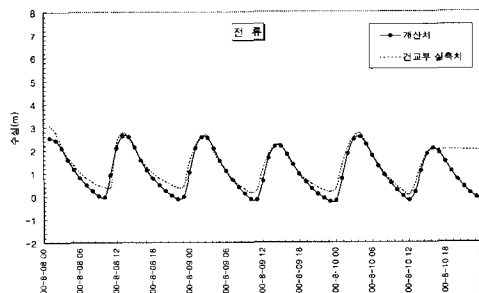
팔당댐의 방류량과 하류단인 월곶지점에서 나타나는 조위의 크기에 따라 한강 본류부에서는 대상 지점의 위치마다 흐름의 특성이 바뀌게 되며, 한강 본류부에서 나타나는 조위의 영향은 상·하류단의 경계조건과 함께 임진강에서 유입되는 유량규모에 따라 그 양상이 바뀌게 된다. 이와 같은 흐름특성 분석은 실측자료만으로



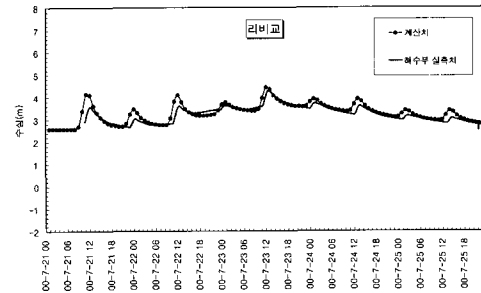
(a) 한강대교(2000년 7월 21일 사상)



(b) 신곡수중보(상)(2000년 8월 25일 사상)

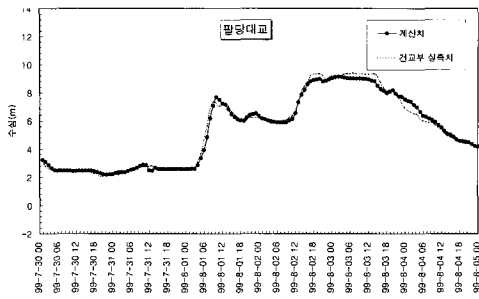


(c) 진류(2000년 8월 25일 사상)

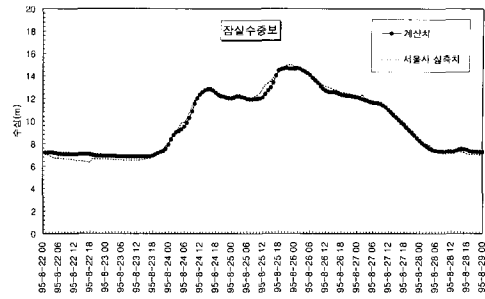


(d) 리비교(2000년 7월 21일 사상)

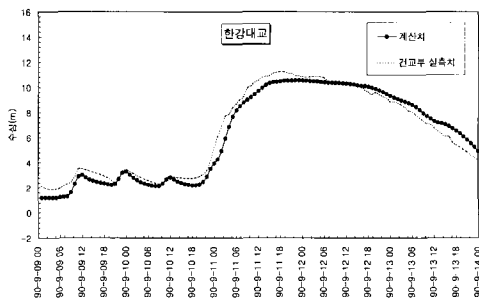
그림 2. 모형에 대한 보정결과



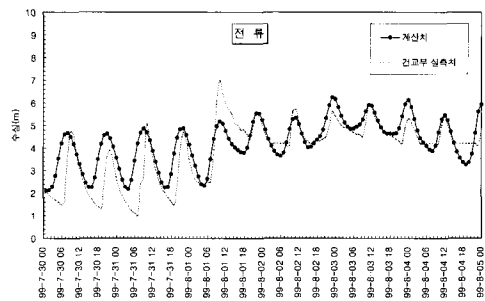
(a) 팔당대교(1999년 7월 사상)



(b) 잠실수중보(1995년 8월 사상)



(c) 한강대교(1990년 9월 사상)



(d) 전류(1999년 7월 사상)

그림 3. 모형에 대한 검증결과

분석이 가능한 경우도 있지만 대부분의 경우 실측자료가 부족하기 때문에 수치모형을 이용한다. 수치모형을 이용할 경우 실측자료에서 제공하지 못하는 다양한 상하류 경계조건을 부여할 수 있으며, 지점별 시간별로 수위, 유속, 유량 등 다양한 결과를 얻을 수 있기 때문에 효율적이라 할 수 있다. 본 절에서는 한강 본류부와 임진강에 대해 구축된 동수역학적 홍수추적모형을 이용하여 서해안 조석, 한강 본류, 임진강 사이에서 발생하는 상관관계를 분석하고자 한다.

3.1 한강 본류부에 대한 조위영향분석

한강 본류부에서 나타나는 조위의 영향은 팔당댐에서의 방류량과 함께 월곶지점에서의 조석의 높이에 따라 많은 영향을 받게 된다. 또한 한강 하류부에서의 조위는 임진강에서 유입되는 유량의 규모에 따라 한강과 임진강의 합류점에서 조위의 감쇠정도가 상당히 다르게 나타나기 때문에 임진강의 유량규모를 고려한 한강 본류부에서의 정량적인 조위영향분석이 필요하다.

팔당댐의 방류량과 하류단인 월곶지점의 만조위와 따른 한강 본류부의 영향을 살펴보기 위해서는 팔당댐

과 월곶지점에서 적절한 경계조건을 지정하여야 한다. 본 연구에서는 팔당댐 방류량은 한강 본류부에서 나타날 수 있는 여러 규모의 유량을 고려하기 위해 300cms에서부터 계획홍수량인 37,000cms까지 11개 유량등급으로 산정하였다. 팔당댐에서의 시간별 방류량은 방류형태에 따라 하류부에서 다양한 흐름특성이 나타나기 때문에 하류부에서 발생하는 조위의 영향이 규칙적으로 나타나도록 방류를 하여야 한다. 이를 위해서 처음에 300cms 규모로 방류를 시작한 후 선형으로 증가하여 15시간 후에 목표 방류량에 도달하여 계속 유지되는 것으로 가정하였다. 이 때 한강 수계내 각 지류에서는 평수기 때의 유량이 유입되고 있는 것으로 가정하였으며 이 중 임진강의 경우는 한강 본류부에 미치는 영향력과 임진강 유량규모를 고려하여 200cms인 경우와 적성지점에서의 계획홍수량인 16,200cms가 유입되는 두 가지 경우를 가정하였다.

한강 하류부인 월곶지점에서는 여러 가지 규모의 조위를 발생시키기 위해서 한국해양연구원에서 2000년 7월 21일부터 9월 4일까지 월곶지점에서 관측한 조위자료를 분석하여 관측자료 가운데 최대 만조위와 최소 만

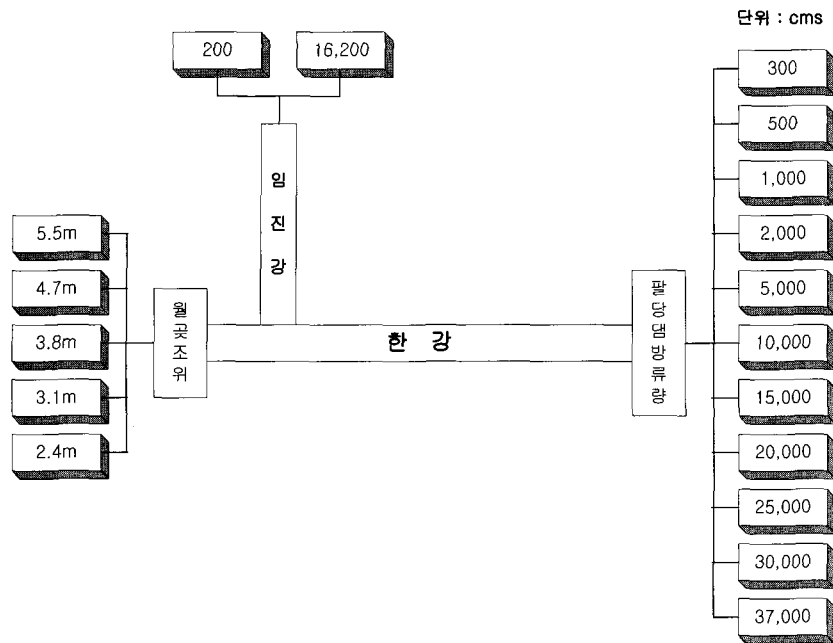


그림 4. 한강 하류부의 조위영향분석 구성도

조위를 포함하는 5개의 가상조위자료를 생성하였다. 이와 같이 구성한 각 경계조건은 그림 4와 같다.

팔당댐 방류규모와 조위규모에 따른 한강본류부 수면의 상하진동을 살펴보면 그림 5~6과 같다. 그림 5는 팔당댐의 방류량이 300cms, 임진강의 방류량이 200cms이고 월곶지점의 만조위가 가장 낮은 2.4m인 경우 시간별 수위변화 양상을 전체 모의시간에 대해 나타내고 있으며, 그림 6은 시간별 종단도를 3차원 수면형상으로 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 하류단 조위의 영향이 상류로 전파되면서 조금씩 줄어들다가 신곡수중보 상류로는 조차가 거의 나타나지 않는 것을 알 수 있다.

그림 7은 그림 4의 경계조건들을 조합하여 분석한 결과로서 한강 본류부에서 나타나는 조차의 크기를 월곶지점의 만조위별로 제시하고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 팔당댐에서의 방류량과 월곶지점의 만조위에 따라 한강 본류부에서의 조차는 다양한 특성을 나타내고 있는데, 특히 임진강의 유입량에 따라 상당히 다른 양상을 나타내고 있었다. 한강 본류부에서의 조차분석을 통해 나타난 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 한강 본류구간에서는 잠실수중보 하류구간에서 조위의 영향이 매우 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 임진강의 유량이 평상시라고 가정하면 잠실수중보

와 신곡수중보 사이에서는 팔당댐 방류량이 5,000cms 이하인 경우 조석으로 인해 최대 약 1.5~2.0m 가량의 수위가 상승할 수 있고, 팔당댐 방류량이 15,000cms 이상인 경우 조석의 규모에 관계없이 조석의 영향으로 인한 수위상승은 미미한 것으로 나타났다. 또한 월곶 만조위가 2.4m 정도인 경우에는 신곡수중보 상류로 조석의 영향이 전파되지 못하는 것으로 나타났다. 신곡수중보 하류에서는 팔당댐 방류량에 따라 크게 차이가 나기는 하지만 신곡수중보 하류의 전류 수위관측소 지점(팔당댐 기점 약 69km 지점)의 경우 월곶 만조위가 5.5m일 때 조석으로 인해 최대 5.0m 정도의 수위상승이 발생할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 팔당댐 방류량이 25,000cms 정도가 되어도 조석으로 인해 1.0m 정도의 수위상승이 발생할 수 있는 것으로 나타났다. 월곶의 만조위가 2.4m가 되면 동일한 지점에서 최대 3m 정도의 수위상승이 발생할 수 있고 팔당댐 방류량이 15,000cms 이상이 되면 조위영향이 미미한 것으로 나타났다.

(2) 한강 본류의 경우 잠실수중보와 신곡수중보가 조위 전파에 큰 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 조위의 영향이 나타나는 지점은 잠실수중보 하류쪽으로 국한된다. 잠실수중보 직하류에서는 최대 약 2m 정도의 조위영향이 발생할 수 있으나 잠실수중보로 인해 상

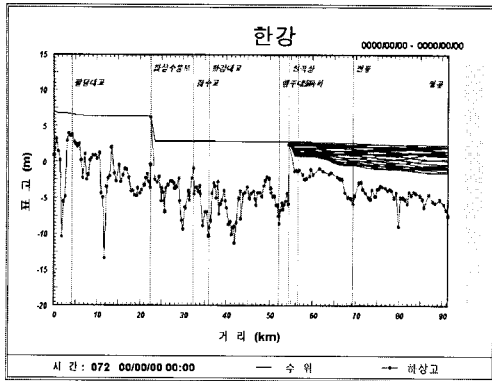


그림 5. 한강의 시간별 수위변화도
(팔당댐:300cms, 만조위:2.4m)

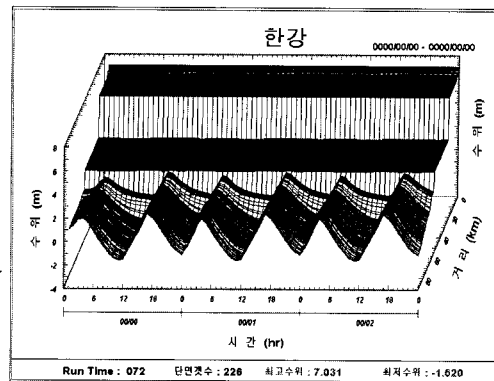
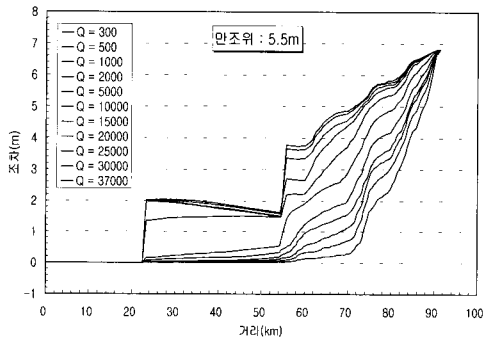
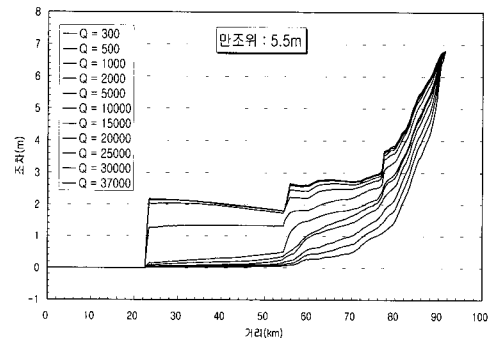


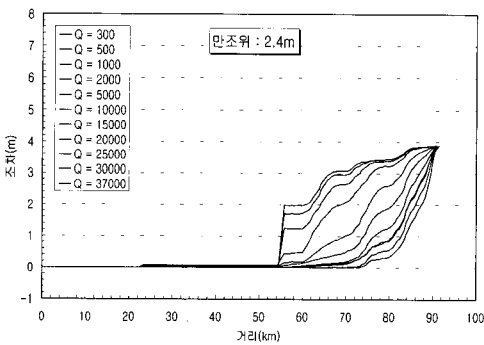
그림 6. 한강의 3차원 수면분포도



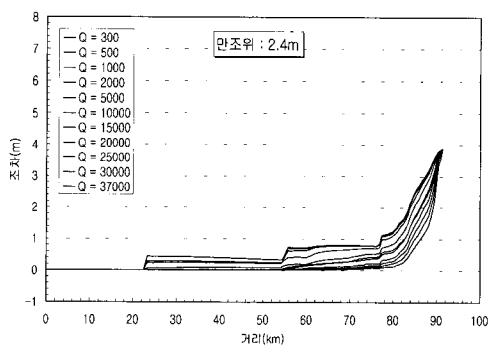
(a) 만조위 5.5m(입진강:200cms)



(b) 만조위 5.5m(입진강:16,200cms)

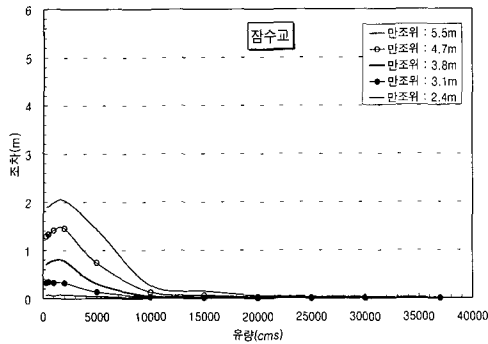


(c) 만조위 2.4m(입진강:200cms)

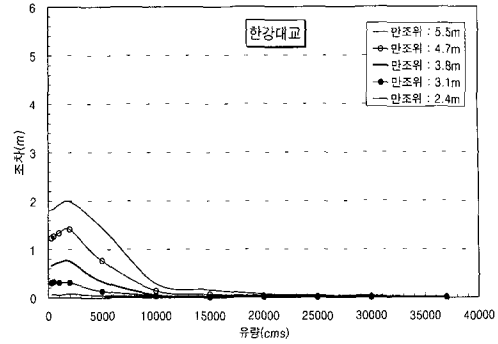


(b) 만조위 2.4m(입진강:16,200cms)

그림 7. 한강의 조위영향도

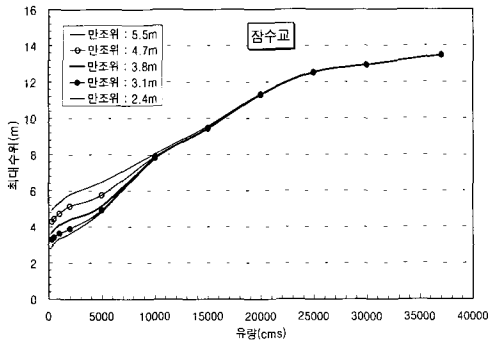


(a) 잠수교(입진강:200cms)

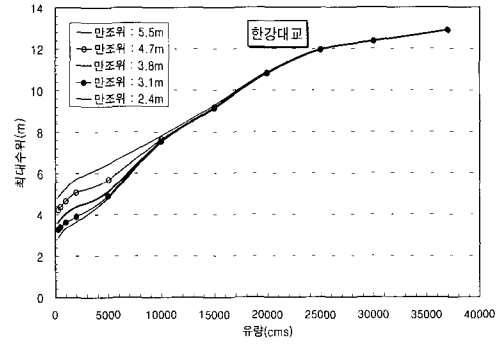


(b) 한강대교(입진강:200cms)

그림 8. 한강 주요지점에서의 조차분석도



(a) 잠수교(입진강:200cms)



(b) 한강대교(입진강:200cms)

그림 9. 한강 주요지점에서의 발생가능 최대수위도

류로는 조위영향이 전혀 전파되지 않는다. 신곡수중보로 인해서 조위의 영향이 크게 차단되는 것으로 나타났는데 최대 약 2.3m의 조위영향이 줄어들 수 있는 것으로 나타나 신곡수중보가 없을 경우 잠실수중보 하류 한강 본류구간에서는 약 2m 정도의 수위가 전반적으로 저하될 수 있는 것으로 나타났다. 신곡수중보와 잠실수중보 사이에서 나타나는 특이한 현상은 신곡수중보 상류로 갈수록 조차가 크게 나타난다는 것이다. 이 현상은 팔당댐 방류량이 약 2,000cms가 될 때까지 나타나는데 이 원인은 상류에서 내려오는 유량이 조위상승으로 인해 일시적으로 정체되면서 발생하는 것으로 판단된다. 이 현상은 모형의 실행결과에서 뿐만아니라 한강대교와 잠수교의 실측자료에서도 나타나고 있다.

(3) 입진강의 홍수량에 따라 한강 본류에 나타나는

조위영향이 크게 달라지는 것으로 나타났다. 팔당댐 방류량이 약 15,000cms를 넘는 경우에는 한강 본류에 나타나는 조위영향이 입진강 홍수량의 영향을 거의 받지 않지만 그 이하의 경우에는 신곡수중보 하류를 기준으로 최대 1m 정도까지 조위의 영향을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 또한 입진강 홍수량의 영향은 대부분 신곡수중보 하류쪽에서 발생하는 것으로 나타났다.

이와 같은 한강 본류부에 대한 조위영향을 통하여 입진강의 유량규모에 따른 잠수교, 한강대교, 전류지점에서의 조차분석도와 발생가능 최대수위도를 개발하였다. 그림 8은 입진강의 유량이 200cms일 때 잠수교와 한강대교지점에 대한 조차분석도를 나타내고 있으며, 그림 9는 이들 두 지점에서 발생가능한 최대수위를 나타내고 있다. 그림에서 나타나듯이 한강 본류부에서 홍

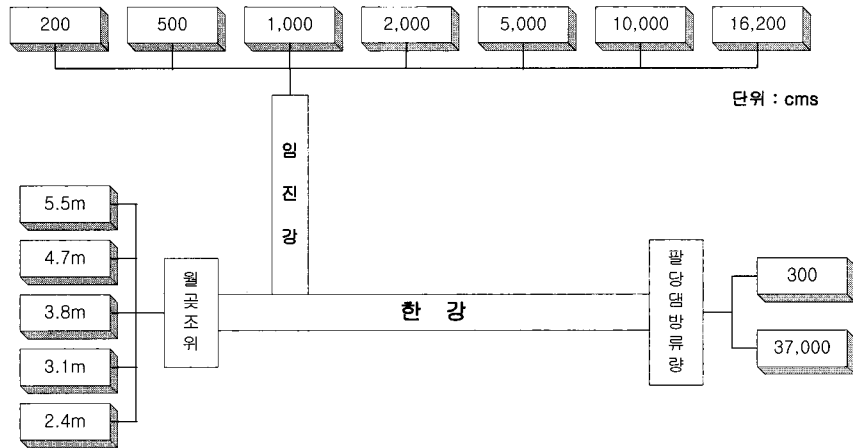


그림 10. 임진강의 조위영향분석 구성도

수위의 변화에 상당히 민감한 지점인 잠수교와 한강대교지점에서는 서해안 조석의 영향으로 인해 최대 2.0m 정도의 수위변화가 발생할 수 있는 것으로 나타났으며, 임진강의 유량과 서해안 조위의 크기에 상관없이 팔당댐의 방류량이 15,000cms 정도로 방류가 된다면 잠수교 지점에서 나타날 수 있는 조차의 크기는 15cm 이하, 한강대교에서는 약 16cm 이하로 나타나며, 20,000cms 정도가 되면 두 지점 모두 조차가 거의 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 하지만 전류지점에서는 월곶의 만조위가 5.5m로 상승할 경우 팔당댐에서 계획홍수량을 방류하더라도 조위의 영향은 임진강의 유량에 따라 약 26~45cm 정도의 조차가 발생하게 된다. 발생가능 최대홍수위의 경우 조차분석에서와 같이 잠수교와 한강대교 지점에서는 임진강의 유량이 200cms일 때 팔당댐의 방류량이 약 15,000cms 이상이 되면 조석으로 인해서 발생하는 수위상승은 미미한 것으로 나타났다. 다시 말하면 홍수시 만조위(또는 사리)로 인한 홍수위 상승에 대한 일반적인 염려와는 달리 팔당댐의 방류량이 15,000cms를 넘는 경우 한강 본류 서울시 구간에서는 조석이 홍수위에 거의 영향을 끼치지 않는다는 것을 의미하고 있다.

한강의 대상구간내의 경계조건에서 발생가능한 여러 가지 경우들을 모두 고려하여 모의한 조차분석을 통해서 한강 본류부에서의 모든 지점에서 발생가능한 조차의 크기를 예측할 수가 있게 되며, 조위의 영향으로 인한 수위상승효과를 정량적으로 산정할 수 있다.

3.2 임진강에 대한 조위영향분석

서해안의 조석이 한강 하류부로 전해지면서 한강 본류부의 수위가 주기적으로 진동함에 따라 이 영향이 임진강에 미쳐 상류쪽으로 조위의 영향이 나타나게 된다. 임진강의 조위영향 분석을 위해서 임진강 상류부에서 최저 유량을 200cms로 하여 계획홍수량인 16,200cms 까지 7개의 유량등급으로 분류하였다. 상류단에서의 유량은 한강의 경우와 마찬가지로 200cms에서 선형으로 증가하여 15시간 후에 목표유량에 도달하도록 하였다. 임진강의 하류부에서 수위와 유량의 증가는 한강 본류로부터 영향을 많이 받기 때문에 팔당댐에서의 방류량을 평상시 방류량인 300cms와 계획 홍수량인 37,000cms 두 가지 경우를 고려하였으며 월곶지점에서 발생하는 조위의 크기도 한강 본류부에 대한 조위영향분석에서 사용된 5개의 가상조위를 사용하였다. 그림 10은 임진강에 대한 조위영향분석을 수행하기 위한 대상구간의 구성도를 나타내고 있는데 그림에서 보는 바와 같이 한강의 팔당댐에서 2개의 유량등급과 임진강에서의 7개 유량등급 그리고 한강 하류단인 월곶지점에서의 5개 가상조위자료를 서로 조합하여 임진강에 대한 흐름특성을 분석하였다.

그림 10과 같이 가정한 상·하류 경계조건들을 이용하여 한강 수계에 대해 동수역학적 홍수추적모형을 적용하였다. 그림 11~12는 한강의 팔당댐 방류량이 300cms, 임진강 상류단의 유량이 200cms이고 월곶지점의 만조위가 5.5m일 때의 시간별 수위변화도와 3차원 수면분포도를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와

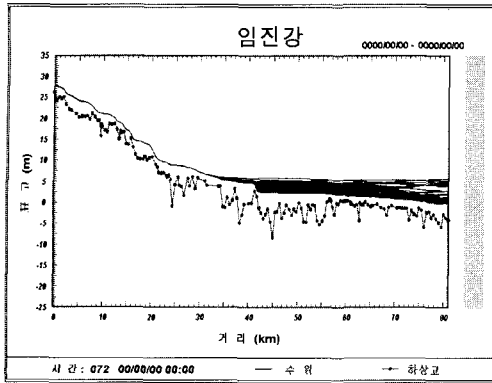


그림 11. 임진강의 시간별 수위변화도
(임진강:200cms, 만조위:5.5m)

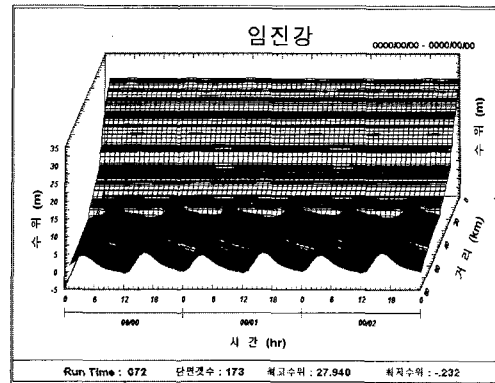
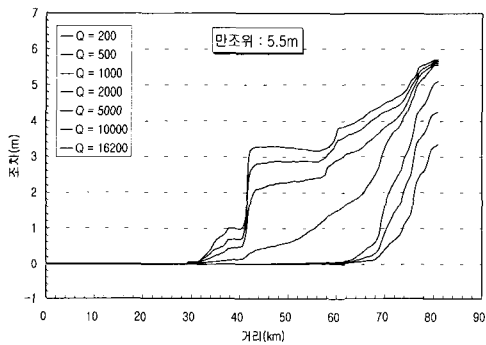
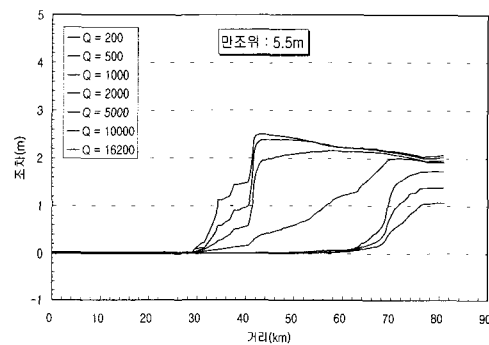


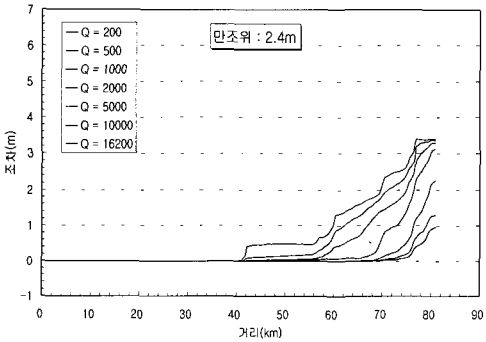
그림 12. 임진강의 3차원 수면분포도



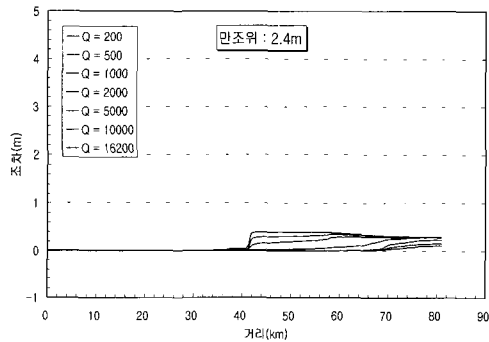
(a) 만조위 5.5m(한강:300cms)



(b) 만조위 5.5m(한강:37,000cms)

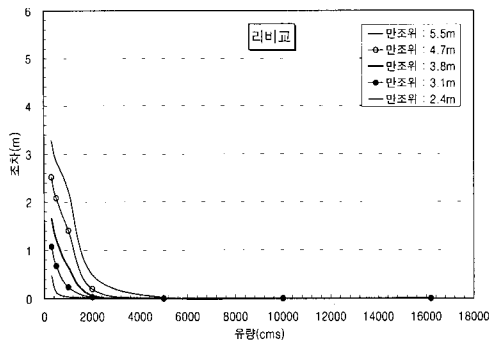


(c) 만조위 2.4m(한강:300cms)

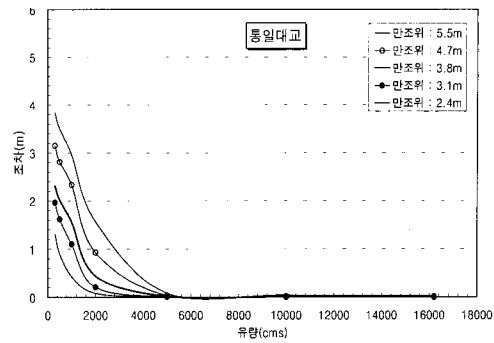


(d) 만조위 2.4m(한강:37,000cms)

그림 13. 임진강의 조위영향도

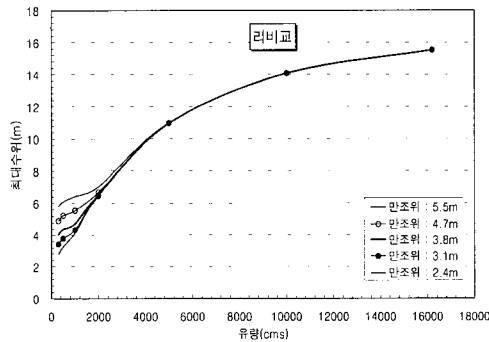


(a) 리비교(한강:300cms)

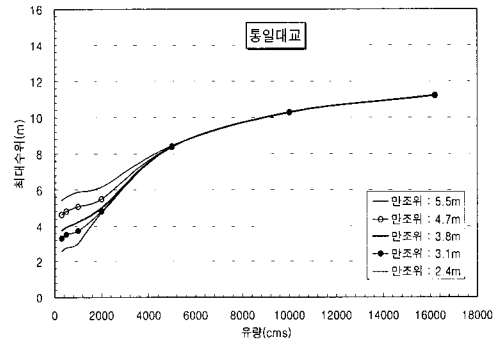


(b) 통일대교(한강:300cms)

그림 14. 임진강 주요지점에서의 조차분석도



(a) 리비교(한강:300cms)



(b) 통일대교(한강:300cms)

그림 15. 임진강 주요지점에서의 발생가능 최대수위도

같이 한강 하류부의 조석으로 인한 임진강 하류부의 수위의 진동현상으로 인해 띠의 형태가 나타나고 있으며 이러한 현상은 상류로 올라갈수록 조금씩 줄어들다가 하상경사가 급해지는 고랑포 부근 지점인 41km 부근에서부터 조위의 영향이 미미하게 나타나고 있다. 이와 같은 모의결과를 이용하여 임진강에서 발생하는 조차의 크기를 그림 13에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 한강 본류부에서 발생하는 조차분석도와 비교할 때 유사하면서도 크게 다른 모습을 나타내고 있는데 이에 대한 특성을 다음과 같다.

(1) 임진강에서는 적성 수위관측소 직상류 지점인 약 30km 지점까지 조위의 영향이 나타나고 있다. 한강 합류점을 기준으로 볼 때 약 50km 구간에서 조위의 영향으로 수위상승이 발생하고 있는 것이다. 한강이 평상시 유량인 경우 임진강의 유량이 5,000cms가 될 때까지 전진교 직상류인 50km 부근에서는 0.5~3.3m 정

도의 조위영향이 나타나고 있다. 이보다 유량이 증가하여 10,000cms가 되면 조위영향이 나타나는 구간이 통일대교 부근인 60km 지점 하류만으로 한정되어 나타나고 있다. 문산천이 합류되는 약 67km 지점에서는 유량이 10,000cms인 경우 약 0.5m의 수위상승이 나타나지만 유량이 이보다 크게 되면 조위의 영향은 0.2m 미만으로 미미한 것으로 나타났다.

(2) 임진강에서는 고랑포 부근 지점인 41km를 기준으로 조석의 영향이 크게 달라지는 것으로 나타났다. 이 지점 하류부에서는 최대 3.3~5.7m의 수위 상승이 발생하지만 이 지점 상류부에서는 최대 1m의 수위상승이 발생하는 것으로 나타나 이 지점을 기준으로 조위영향이 급격하게 줄어드는 것으로 나타났다. 이는 이 지점을 기준으로 임진강의 하상경사가 급격하게 변화하기 때문에 나타나는 현상이다.

(3) 임진강의 조위영향도 한강의 홍수량에 직접적인

영향을 받는 것으로 나타났다. 한강 홍수량이 37,000cms가 되면 월곶 만조위가 5.5m인 경우에 합류점에서 조차가 2m로 나타나는데 이는 한강 홍수량이 300cms인 경우에 비해 3.7m 가량 줄어든 것이다. 지점에 따라서 다르기는 하지만 한강의 홍수량이 임진강에 미치는 조위의 영향에 많은 영향을 미치고 있는 것이다.

이상과 같은 분석을 통해서 임진강의 모든 지점에서 상류단의 유량규모와 월곶의 조위의 크기에 따라 발생 가능한 조차의 크기를 예측할 수 있다. 결국 월곶지점의 만조위의 크기에 따라 임진강의 하류부에서는 상당한 크기의 조차가 발생하고 있었으며 적성 수위관측소 까지도 조위의 영향이 나타나고 있다. 이러한 결과들을 토대로 그림 14에서는 임진강 하류단인 한강 합류점으로부터 약 33.6km에 위치한 리비교, 약 20.0km의 통일대교와 같은 주요 지점에 대한 조차분석도를 홍수량별로 도시하고 있다. 이 두 지점에서는 유량이 300cms 정도로 작은 경우에는 조차가 3~4m 정도로 크게 나타나고 있으며, 유량이 5,000cms 이상이 되면 조위의 영향이 거의 나타나지 않고 있다.

그림 15는 팔당댐에서의 방류량이 300cms이고 임진강의 7개 유량규모와 만조위의 크기에 따라 리비교와 통일대교지점에서 발생가능한 최대수위를 도시하고 있다. 그림에서 나타나듯이 리비교에서는 4,000cms, 통일대교에서는 5,000cms 이상이 되면 조위가 홍수위에 아무런 영향을 미칠 수 없는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 서해안 조위의 영향을 한강과 임진강의 유량 규모에 대해 정량적으로 분석하여 각 하천의 지점별로 조위와 홍수량과의 상관관계를 알 수 있는 조위영향분석도를 개발하였는데 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 한강 본류의 잠실수중보와 신곡수중보 사이에서는 팔당댐 방류량이 5,000cms 이하인 경우 조위영향으로 최대 2.0m까지 수위상승이 발생하며, 방류량이 15,000cms 이상인 경우에는 조석의 규모에 관계없이 수위상승은 미미한 것으로 나타났다. 그러나 한강의 최하류 관측소인 전류의 경우에는 팔당댐 방류량이 25,000cms 정도가 되어도 1.0m 정도의 수위상승이 발생하는 것으로 나타났다.

(2) 임진강의 경우 적성 수위관측소 직상류 지점까지 조위가 영향을 미치는 것으로 나타났다. 통일대교

지점에서는 최대 3.5m의 수위가 조위영향으로 상승할 수 있는 것으로 나타났으며 유량이 증가할수록 조위영향은 줄어들어 유량이 5,000cms 이상이 되면 조위의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

(3) 한강 본류의 경우 신곡수중보와 잠실수중보가 조위 전파에 큰 영향을 끼치고 있는 것으로 나타났는데 신곡수중보로 인해 최대 약 2.3m의 조위가 줄어드는 것으로 나타났다. 임진강의 경우 고랑포 부근에서 하상경사가 급변하고 이로 인해 조석영향이 급격하게 줄어드는 것으로 나타났다. 고랑포에서도 신곡수중보와 같이 최대 약 2.3m의 조차가 줄어드는 것으로 나타났다.

(4) 한강과 임진강의 많은 구간에서는 큰 홍수시에는 서해 조위가 홍수위의 상승에 영향을 거의 미치지 못하는 것으로 나타났다. 홍수량이 커질수록 조석이 영향을 미치는 범위는 하류구간쪽으로 줄어들며, 영향을 미치는 크기도 줄어들기 때문이다. 이로 인해 하구에 가까운 일부 구간을 제외하고는 서울시와 같은 구간에서는 홍수피해가 발생할 수 있는 큰 홍수시에는 조위가 수위상승에 실제로 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 한강과 임진강의 홍수량, 서해안 조위의 영향이 매우 복잡하게 서로 영향을 미치는 것을 알 수 있었으며 이에 대한 정량적인 분석은 한강과 임진강의 하천관리, 홍수 예경보 등에 도움이 될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2001년도 해양수산부의 해양수산연구개발 사업에 의한 연구결과로서 지원당국에 깊이 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 건설교통부 한강홍수통제소 (1997). **수리학적 모형 을 이용한 한강 상류부 하도의 홍수에측모형 개발**.
- 국립해양조사원 (2000). **조석표(한국연안)**.
- 김상호, 김원 (2002). "한강 하류부 흐름해석을 위한 수리학적 모형의 구축." **한국수자원학회논문집**, 제35권, 제5호, pp. 485-500.
- 김상호, 김창완, 김원, 한건연 (2000). "HEC-2 자료를 이용한 DWOPER-2K 모형의 개발." **2000년도 대한토목학회 학술발표회논문집(III)**, 대한토목학회, pp. 213-216.
- 김 원, 원유승 (1998). "수리학적 모형을 이용한 한

- 강 실시간 홍수예보시스템 구축.” 1998년도 대한토목학회 학술발표회 논문집(III), 대한토목학회, pp. 181-184.
- 김 원, 김창완, 윤광석, 윤태훈 (2001). “신곡수중보와 조석운동을 고려한 한강 본류의 흐름특성.” 대한토목학회논문집, 제21권, 제3-B호, pp. 305-314.
- 박봉진, 이환기, 정관수 (1996). “폐합형수계 모형에 의한 부정류 해석.” 한국수자원학회지, 제29권, 제5호, pp. 129-138.
- 이종태, 한건연, 서병하 (1993). “한강의 홍수규모에 따른 인도교 수위의 조석영향 분석.” 한국수문학회지, 제26권, 제2호, pp. 67-77.
- 이주현, 이은태, 이도훈, 김남원 (1998). “낙동강 하류부의 감조구간에 대한 홍수해석.” 한국수자원학회논문집, 제31권, 제3호, pp. 235-242.
- 해양수산부 (2001). 한강·임진강 유역에 대한 조위영향 연구, 한국해양연구원/한국건설기술연구원.
- (논문번호:02-25/접수:2002.04.30/심사완료:2003.03.26)