

임진강 홍수예보시스템 개선

Improvement of Flood Forecasting System for Imjin River

최혁준*.김원**.이민호***
Choi Hyuk Joon, Kim Won, Lee Min Ho

요 지

본 연구의 목적은 기존에 구축된 임진강 홍수예보시스템의 문제점을 분석하여 새로운 예보시스템을 구축하는 것으로, 주요 내용은 수문레이더의 활용, 유효우량 산정, 유출량 계산, 하도추적, 조위 영향 감안, 시스템 효율성 개선 등 여러 분야에서 기존 시스템의 문제를 분석하고, 이를 해결할 수 있는 새로운 시스템을 구축하는 것이다.

본 연구를 통해 새로이 구축된 임진강 홍수예보시스템은 수문학적 모형의 경우 기존의 소유역 구분을 개선하여 효율적인 홍수예보가 가능하도록 최적의 소유역을 재구성하였고, 이에 따른 소유역별 매개변수 산정, 평균 강우량 산정 등을 모두 새로이 구축하였다. 수리학적 모형의 경우에는 한강과 임진강, 서해 조위를 동시에 동역학적으로 고려할 수 있도록 시스템을 재구축하였으며, 최근의 측량단면을 이용하여 최적 조도계수를 재산정하였다.

본 연구를 통해 개선된 임진강 홍수예보시스템은 과거 홍수사상에 대한 적용을 통해서 검증되었다. 수문레이더, 수문학적 모형, 수리학적 모형 등이 모두 전산시스템 상에서 원활하게 운영되는 것이 검증되었으며, 본 연구에서 개선된 시스템의 정확도 또한 실제 적용을 통해서 검증되었다. 따라서 본 연구에서 구축된 임진강 홍수예보 시스템을 통해 임진강 유역에 대한 홍수예보의 정확성, 효율성이 크게 향상된 것으로 판단된다.

핵심용어 : 임진강, 홍수예보시스템, 수문학적 모형, 수리학적 모형

1. 서 론

임진강 유역에서는 1996년 홍수 이후 1998년, 1999년에 연이어 대규모 홍수가 발생하여 많은 피해가 발생한 바 있다. 임진강 유역은 그 이전까지 유역면적의 많은 부분이 군사지역으로 인해 접근이 제한되어 있었고, 집중호우가 자주 발생하지 않아 다른 지역에 비해 상대적으로 홍수대책 수립이 활발하지 못했던 것이 사실이다. 더구나 유역면적의 2/3가 북측인 관계로 상류에서 발생하는 홍수를 사전에 인지하지 못하는 것은 물론 강우량과 같은 기본적인 수문상황도 알 수 없는 관계로 홍수대책의 수립에 근본적인 한계를 지니고 있다. 일부 제한적인 강우나 유역특성 자료가 알려지긴 했으나 유출량 계산을 하기에는 유역에 대한 정보가 부족한 상황이었다.

임진강 유역 집중호우로 인해 임진강 유역에 대한 홍수대책의 필요성이 크게 대두되었다. 이에 따라 북측의 강우량을 관측하기 위해서 국내에서 처음으로 수문레이더가 도입되었고, 이를 이용한 임진강 유역의 홍수 예보시스템이 구축되었다. 이때 구축된 임진강 유역의 홍수예보시스템은 수문레이더에 의해 관측된 강우를 실시간 홍수 예보에 직접 이용하도록 되어 있는 것이 기존 홍수예보시스템과 크게 다른 점이라고 할 수 있다. 이 시스템은 유효우량의 산정을 위해서는 SCS 방법을 사용하고 있고, 유역유출 계산을 위해서는 저류함수법을 사용하였으며, 하도추적을 위해서는 한국수자원공사에서 개발한 Loopnet 모형을 사용하였다.

기존 임진강 홍수예보시스템은 국내에서 최초로 수문레이더에 의해 강우를 관측하여 실시간으로 홍수를

* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 E-mail : hjchoi@kict.re.kr

** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 E-mail : wonkim@kict.re.kr

*** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 E-mail : 518minho@kict.re.kr

예보할 수 있도록 구축되었지만 실제 적용에서는 몇 가지 한계를 지니고 있다. 수문레이더 이용시 가장 중요한 것은 레이더 영상을 정량강우로 변환하는 과정인데, 우리나라에서는 최초로 홍수예보에 수문레이더가 활용되면서 이에 대한 검증과정이 충분하지 않아 실제 예보에 많은 애로가 있는 것이 사실이다. 또한 홍수예보 시스템에서도 소유역이 지나치게 많이 나누어져서 실제 예보시 유출계산이 비효율적인 면이 있다. 운영측면에서도 기존 한강홍수통제소에서 운영중인 시스템과 별도로 구성되어 있어서 시스템 운영, DB 활용측면에서 불합리한 면이 있다. 수리학적 홍수예보 측면에서는 한강과 서해 조위를 동시에 고려하지 못하는 한계가 있으며, 과거 하천 측량단면을 최근 자료로 개선할 필요성이 있다.

2. 기존 홍수예보시스템의 현황

2.1 수문학적 모형

기존 모형은 임진강 유역을 40개 소유역, 29개 하도로 구분하였으며, 레이더 및 TM관측소의 우량관측망을 이용하여 유역평균강우를 산정하고 있다. 유역유출모형은 저류함수법, 하도유출모형은 Muskingum법을 이용하고 있다. 이에 대한 문제점은 군사분계선 이남의 30개 소유역은 유역규모에 비해 과다하여 예보의 효율성이 부족하다는 것이다. 또한, 레이더 강우자료 사용에 있어 발생하는 오류를 해결하고, 홍수사상 분석결과를 저장하여 향후 예보업무에 참고자료로 활용할 필요성이 있다.

2.2 수리학적 모형

기존 모형은 군남, 전곡 지점에서 임진강 하구까지 수리학적 모형으로 구축되어 있는데, 한국수자원공사에서 개발한 LOOPNET 모형이 설치되어 있으며, 주요 단면에서의 예보자료를 제공할 수 있도록 구성되어 있다. 수리학적 모형으로 통합홍수예보시스템의 DWOPER 모형으로 대체하여 모형의 일관성을 유지할 필요성이 있으며, 최근 실시된 임진강하천정비기본계획(보완)(건설교통부, 2001) 용역보고서의 측량자를 반영, 효율적인 조위자료의 반영이 필요하며, 지금까지 분리되어 있던 한강 본류의 모형과 연계할 필요성이 있다.

3. 수문학적 모형의 개선

수문학적 모형은 모형운영의 편의성을 위하여 기존 한강홍수통제소에서 사용하고 있는 모형으로 통일하여 구축하였다. 소유역의 평균강우량은 티센평균을 이용하여 산정하고, 결측시 보완은 RDS법을 이용하였다. 모형 구성은 유효우량산정을 위해서는 유출율-포화우량법, 유역과 하도의 유출산정을 위해서는 저류함수법을 이용하였다.

3.1 소유역, 하도 및 티센망 재구성

앞서 조사된 문제점을 분석한 결과 소유역의 면적차를 최소화 되도록 소유역과 하도를 구분하고 티센망을 구성하였다. 검토결과 소유역의 출구에서 유량의 검토가 불가능한 지점을 제외하고, 기존 40(북측:10, 남측:30)개 소유역에서 16(북측:4, 남측:12)개로 구성하였다. 티센망은 TM 우량관측소를 대상으로 작성하였으며, 북측의 평균강우량의 오차를 최소화하기 위하여 남측과 북측으로 구분하여 티센망과 수문레이더의 강우자료를 이용하여 소유역의 평균강우량을 산정하도록 모형을 구성하였다.

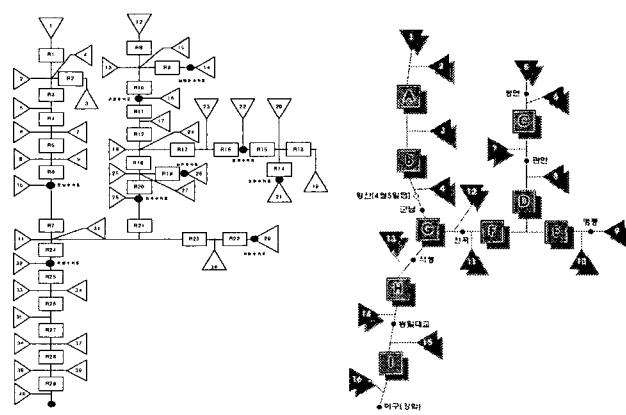


그림 1. 모형의 모식도 비교

3.2 모형상수 산정

임진강 유역의 경우에는 기존의 자료를 분석하여 유출율과 포화우량을 산정하는 방법을 적용하기 어렵기 때문에 미계측 유역에 대한 유출율과 포화우량을 산정하는 방법이 도입될 필요가 있다. 통합홍수예경보시스템 개발보고서(한강홍수통제소, 2000)에 제시된 방법을 적용하여 한강 유역과 낙동강 유역의 홍수예보시스템의 1차유출율, 포화유출율 및 포화우량을 산정한 바 있다. 본 연구에서는 하천빈도, 하천기울기 및 유출곡선 지수를 이용하여 유효우량산정 모형상수를 산정하였다.

유역유출과 하도유출 모형상수는 실측자료가 있는 경우 상수고정법이나 상수역산법 등을 이용할 수 있으며, 실측자료가 없는 경우는 경험식에 의한 방법으로 나눌 수 있으며, 임진강 유역의 경우 미계측 지역이 2/3 이상이고, 실측자료가 충분하지 않아 저류상수와 지체시간을 도네가와 공식, 가꾸야 공식 및 기무라공식을 이용하여 추정후 표 1의 2003년~2005년 홍수기에 적용하여 재조정하였다.

표 1. 과거 주요 홍수사상

대상기간(수행시간)	팔당댐 최대방류량(m^3/s)	적성최고수위(m)	통일대교최고수위(m)	한강대교최고수위(m)
2003년 8월 23일 09시~29일 08시	9,369	10.72	9.24	5.17
2004년 8월 17일 05시~22일 05시	5,156	1.28	4.83	3.33
2005년 9월 17일 03시~21일 07시	3,321	4.42	5.44	3.46
2006년 7월 14일 18시~19일 23시	23,084	10.77	결측	10.22

3.3 모형의 검증

모형의 검증은 표 1의 2006년 홍수기에 대하여 산정된 모형상수와 재구성된 모형을 적용하였다. 그림 2에는 2006년 7월 홍수에 대하여 검토하였다. 그림 2(a)는 단일소유역인 영중지점에 대하여 모형을 적용한 결과이다. 그림 2(b)는 홍수 예보지점인 전곡지점에 대하여 적용한 결과이며, 그림 2(c)는 적성지점에 대하여 적용한 결과이다. 적용결과 한탄강유역의 주요지점인 영중과 전곡지점은 모형의 정확도를 확보할 수 있었으며, 임진강 본류로부터 불확실한 유입량을 포함한 적성지점은 정확도가 다소 떨어짐을 알 수 있다.

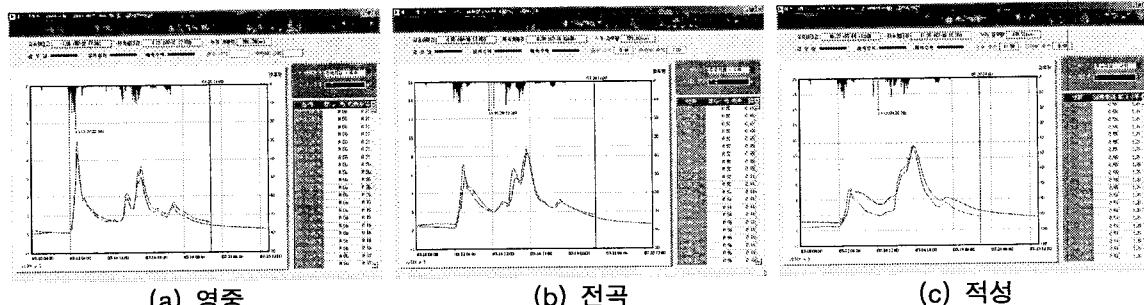


그림 2. 2006년 홍수에 대한 주요 지점 검토

4. 수리학적 모형의 개선

임진강 홍수예보시스템의 수리학적 모형을 개선하기 위해 임진강과 한강 하류부 및 여러 지류에 대한 1차원 수리학적 모형을 구축하였다. 수리학적 모형의 구축을 위한 기본자료인 대상구간내 하도단면 자료와 상하류단 경계조건을 결정하고, 모형의 계산결과에 크게 영향을 미치는 조도계수에 대한 최적화과정을 통한 모형의 보정과 검증을 실시하였다. 실제 발생한 과거 홍수사상을 이용하여 모형을 보정하고 검증하기 위해 표 1에 제시된 홍수사상을 적용하였다. 제시된 4개의 과거 홍수사상은 강화대교 지점에서 조위관측을 실시하여 실제 관측값이 존재하는 홍수사상이다. 과거 홍수사상 중 2003~2005년의 3개 사상에 대해 모형의 보정을 실시하여 입력자료를 구축하였으며, 2006년 홍수사상에 대해 모형을 적용함으로써 구축된 모형의 입력자료에 대한 검증을 실시하였다.

4.1 하도자료 구축

임진강에 대한 하도자료는 표 2에 제시된 바와 같이 군남 수위관측소에서 한강합류부까지 71개의 단면으로 구성되어 있으며, 한강 본류부에 대한 하도자료는 팔당댐 상류부터 월곶 지점까지 98개의 단면으로 구성되어 있다.

표 2. 대상구간의 하천별 특성

하천명	대상구간		비고	
	단면수	거리(km)	상류단	하류단
임진강	71	69.97	군남	한강 합류부
한강	98	91.35	팔당댐	월곶
왕숙천	15	7.01	퇴계원	한강 합류부
탄천	17	8.00	성남	한강 합류부
중랑천	14	8.27	중랑교	한강 합류부
안양천	25	19.29	안양	한강 합류부

4.2 상·하류단 경계조건

수리학적 모형을 구축하는데 있어 하도의 단면자료와 함께 가장 중요한 자료는 모형의 상류단과 하류단에서의 경계조건이라 할 수 있다. 특히 상류단의 유량수문곡선은 대상구간내 전반적인 홍수량의 분포를 좌우하게 되며 하류단의 수위수문곡선 즉, 조위자료는 상류단의 홍수량에 따른 조석의 효과를 상류로 전파시킴으로써 지점에 따라 흐름특성을 크게 변하게 하는 요인이 된다.

본 연구에서 구축된 모형의 경계조건으로 팔당댐에서는 대상 홍수사상에 대한 실제 방류량을 이용하였으며, 임진강 및 왕숙천, 탄천, 중랑천, 안양천에서의 상류단 경계조건은 각 지류의 상류에 위치한 수위관측소의 수위관측자료를 수위-유량관계곡선을 이용하여 유량자료로 환산하여 모형에 사용하였다. 하류단 경계조건은 한강 하류단인 월곶 지점에서의 조위자료를 경계조건으로 사용하였다. 지금까지 월곶 지점에서의 조위자료는 인천항의 조위자료를 월곶 지점의 조위로 변환하기 위해 조화분석을 실시하여 이용하였다. 이러한 조화분석은 과거에 월곶 지점에 조위를 관측한 자료를 바탕으로 실시한 결과로 측정된 조위에 관한 측정시기, 기간, 측정기관 등과 같은 상세한 자료는 알 수 없으며 다만 측정자료를 토대로 실시한 조화분석결과만을 이용할 수밖에 없었다(건설교통부, 1997). 그러나 본 연구에서는 강화대교 지점에서 직접 관측된 조위자료를 하류단 경계조건으로 사용하여 홍수예보의 효율성 및 정확성을 향상시켰다. 강화대교 지점은 1998년 4월에 관측을 개시하여 자기기록지에 기록되었으며, 2002년 10월부터는 30분 단위로 TM에 의해 한강홍수통제소로 전송되고 있다.

4.3 조도계수 보정

임진강에 대한 조도계수의 보정을 위해 표 1에서 제시한 과거 3개 홍수사상에 대해 대상구간을 5개로 세분화하여 13개의 유량 등급별 함수로 최적의 조도계수를 산정하였으며 임의의 유량에 대한 조도계수는 선형보간법에 의해 계산이 가능하도록 하였다. 표 3에는 본 연구에서 부정류 모형에 의한 조도계수 산정방법을 이용하여 과거 3개 홍수사상에 대한 실측 수위자료를 가장 잘 재현하도록 구간별 그리고 유량별 조도계수를 시행착오법을 통하여 산정한 결과를 나타내고 있다.

표 3. 조도계수 산정결과(임진강)

유량	0~28.06 km	28.06~42.23 km	42.23~48.11 km	48.11~56.01 km	56.01~69.97 km
< 1,000	0.050~0.048	0.010	0.010~0.008	0.010~0.008	0.020
~ 5,000	0.028~0.025	0.040	0.015~0.013	0.019~0.017	0.025
~ 9,000	0.032~0.031	0.040~0.030	0.019~0.013	0.019~0.017	0.020
~ 13,000	0.050~0.040	0.030~0.028	0.019~0.017	0.019~0.017	0.020
~ 20,000	0.050	0.028~0.025	0.014	0.014	0.020

4.4 수리학적 모형의 검증

매개변수의 최적화를 통해서 구축된 단면자료와 조도계수 등을 그대로 활용하여 2006년 태풍 및 집중호우 기간에 발생한 홍수사상을 적용하여 모형에 대한 검증을 실시하였다. 검증을 위한 홍수사상은 2006년 7월 14일 18시에서 7월 19일 23시에 발생한 홍수에 대해 적용하였다. 그림 3은 상류단 경계조건으로 팔당댐 방류량을, 그림 4는 하류단 경계조건으로 강화대교 조위자료를 입력하였다.

이러한 경계조건을 사용하여 모의를 수행한 결과를 대상구간내 주요 지점들에 대해 그림 5~6에 제시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 모형을 통한 모의결과와 건교부의 관측자료가 전반적으로 잘 일치하고 있었으며, 저수위 때 발생하는 조위의 영향과 홍수량의 유하로 인한 첨두수위 및 홍수위의 변화양상 등을 잘 재현하고 있었다.

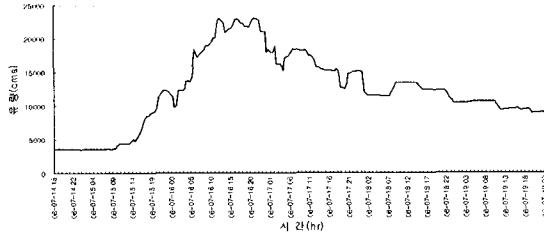


그림 3. 팔당댐 방류량(상류단 경계)

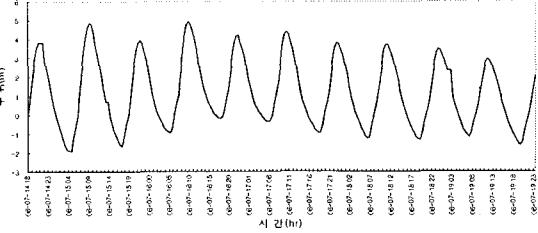


그림 4. 강화대교 조위자료(하류단 경계)

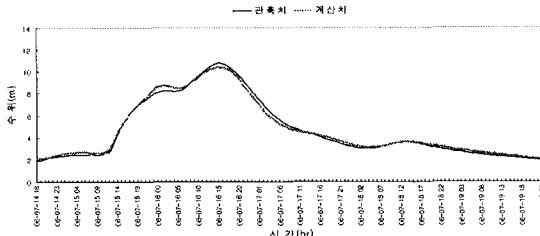


그림 5. 적성지점 검증결과

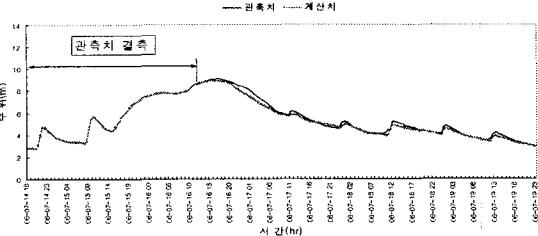


그림 6. 통일대교지점 검증결과

2006년 홍수사상에 대한 각 지점에서의 모의결과와 관측수위자료와의 오차를 나타내고 있다. 표에서 보는 바와 같이 RMS 오차는 0.223~0.274의 범위로 나타났으며, 결측된 지점을 제외하면 모든 지점에서 전반적으로 정확한 결과를 얻을 수가 있었다.

5. 결 론

임진강 유역 및 기존 임진강 홍수예보모형의 현황과 문제점을 파악하여 수문학적 모형과 수리학적 모형을 개선하였다. 본 연구의 수행결과 개선된 모형의 검증결과 만족스러운 정확도를 확보할 수 있었으며, 향후 임진강 유역에 개선된 홍수예보시스템을 적용하여 보다 정확한 홍수예보가 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

건설교통부 (1997). 수리학적 모형을 이용한 한강상류부 하도의 홍수예측모형 개발.

건설교통부 서울지방국토관리청 (2001). 임진강하천정비기본계획(보완).

건설교통부 한강홍수통제소 (2000). 통합 홍수예보시스템 개발 보고서.

木村俊晃 (1961). 貯流關數法に洪水流出の追跡法. 土木研究所.

<http://www.hrfco.go.kr/>