

실시간 홍수예경보시스템의 개발

○김 상 호* · 김 원** · 이 을 래**

1. 서 론

최근들어 이상강우와 집중호우로 인한 하천에서의 홍수위 해석에 대한 정확성은 더욱 절실히 되고 있는 실정이다. 하지만 수리학적 홍수예측모형은 수문학적 홍수예측모형에 비해 물리적으로 복잡한 하천흐름현상을 해석 및 예측할 수 있는 모형이나 아직까지도 여러 가지 불확실성을 완벽하게 처리하지는 못하고 있다. 홍수예측의 정확도를 향상시키기 위해서는 불확실한 요소를 분석하여 최대한 작게 하고 이론적으로 고려할 수 없는 또 다른 불확실성은 이를 고려할 수 있는 별도의 방법으로 해결해야 한다.

현재 한강에 구축되어 있는 홍수예경보시스템은 상하류단의 경계자료 및 지류의 유입량을 이용하여 확정론적인 흐름해석만을 실시하고 있다. 이러한 흐름해석방법으로는 홍수해석을 통해 앞으로 발생하게 되는 흐름상태에 대한 예측이 불가능할 뿐만 아니라 매 시간마다 예측을 통한 홍수모의결과와 실측자료간에 오차가 발생하게 되는데, 모형의 수행을 통한 오차의 제거가 없을 경우 오차의 누적으로 인한 모형의 정확성은 더욱 낮아지게 될 것이다.

현재 한강의 홍수예경보 업무를 담당하고 있는 한강홍수통제소에서는 한강 본류 및 임진강의 홍수예측을 위해 인천조위를 이용하여 변환한 월곶조위를 사용하고 있다. 이로 인해 한강 및 임진강의 홍수예측시 오차가 발생하고 있으며, 이제까지 수리학적 모형 수행 결과 나타나는 설명할 수 없었던 오차의 큰 원인도 조위자료의 불확실성에서 찾을 수 있었다. 따라서 홍수예측의 정확도 향상을 위해서는 정확한 조위를 실측 및 예측할 수 있는 시스템과 이를 반영하여 실시간으로 하도의 홍수예측을 할 수 있는 시스템이 절실히 필요한 실정이다.

2. 실시간 홍수추적모형의 구축

2.1 기본방정식

하천에서의 일차원 부정류 흐름해석을 모의할 수 있는 수치모형은 상당히 많지만 한강의 홍수예경보시스템에서는 범용적인 일차원 하천모형으로 미국 기상청(NWS, National Weather Service)에서 개발한 DWOPER 모형을 사용하고 있다. 이 모형은 하도에서의 홍수해석을 위해 동역학적 흐름 방정식을 4점 음해기법(four-point implicit method)에 의한 유한차분해석을 실시하여 그 해를 구하게 된다. 홍수파 해석을 위한 Saint-Venant 식은 식 (1), (2)의 연속방정식과 운동방정식으로 구성된다.

* 상지대학교 이공과대학 건설시스템공학과 전임강사

** 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 수석연구원

*** 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원

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

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

2.2 실시간 홍수추적모형의 개발

하천에서의 실시간 홍수해석을 위해서 부정류에 대한 모의결과를 개선하기 위해 갱신기법을 이용하는 Kalman Filter 기법을 적용하였다. 이 방법은 동역학적 흐름해석을 통한 예측치를 Kalman Filter gain factor에 의해 실시간 관측치와 조합함으로써 최적의 갱신추정치를 얻게 된다. 이를 위해 확정론적 방정식에 포함된 Manning의 조도계수, 경계조건 및 초기조건과 같은 수리학적 매개변수가 가지는 불확실도를 고려하기 위해서 주어진 지배방정식에 Gaussian 백색잡음 과정을 도입함으로써 추계학적 동역학시스템으로 변형시킬 수 있다.

이와 같은 Kalman Filter 기법을 이용한 실시간 홍수추적모형을 개발하기 위해 본 연구에서는 수리학적 홍수추적모형으로 널리 사용되고 있는 DWOPER 모형을 이용하였다. 국내에서 DWOPER 모형은 불확실도 기법을 도입한 홍수 범람해석 및 월류 위험도 해석, 제방월류 및 붕괴에 따른 홍수해석, 제내지에서의 범람해석 그리고 하도의 중형단 측량자료인 HEC-2 또는 HEC-RAS 모형의 단면자료를 자료의 변형없이 입력자료로 사용할 수 있는 기능을 갖춘 DWOPER-2K 모형(김상호, 2000)이 개발되어 있으며, 이 모형에 대해 실시간 모의기법을 적용할 수 있는 알고리즘을 구축함으로써 실시간 모의를 수행할 수 있는 DWOPER-2K(RT:Real Time) 모형을 개발하였다. 그림 1은 DWOPER-2K(RT) 모형에 대한 주요 모의기능에 대한 추가 입력자료를 나타내고 있다.

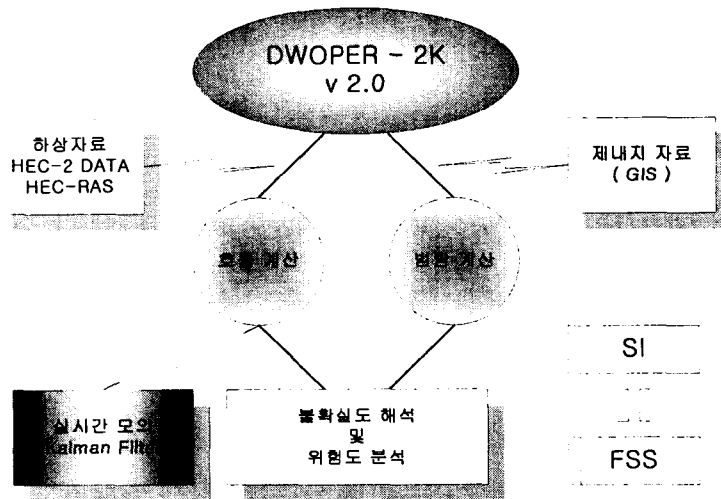
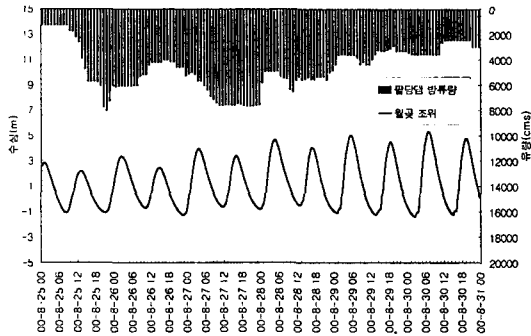


그림 1. DWOPER-2K(RT) 모형의 구조도

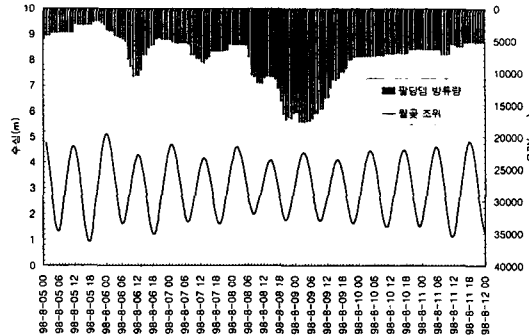
3. 실시간 홍수추적모형의 적용

본 연구에서 개발된 실시간 모의기법을 적용하기 위해 한강 상류단인 팔당댐에서부터 한강하구부인 월곶지점까지 91.35km를 대상구간으로, 임진강을 비롯한 왕숙천, 탄천, 중랑천, 안양천과 같이 본류로 유입되는

주요 지천들을 모두 고려하였다. 여기서 한강 본류부에 대한 하도 단면자료는 2000년에 한강 하천기본계획을 위해 서울지방국토관리청에서 측량한 자료를 이용하였으며, 임진강을 포함한 5개의 주요 지류도 2000년에 실시한 단면측량자료를 이용하였다. 대상구간에 대한 최적의 조도계수를 구축하기 위해 대상구간의 주요 지점에 설치된 수위관측점에서의 실측 수위자료를 이용하여 이를 가장 잘 재현해 내도록 반복작업을 통해 조도계수를 산정하였다(김상호, 2002). 실시간 모의기법을 적용함으로써 인한 수리학적 홍수추적모형의 모의결과의 개선정도를 살펴보기 위해 2000년 8월 21일 사상과 1998년 8월 5일 사상에 대해 적용하였다. 그림 2는 두 사



(a) 2000년 8월 25일 사상



(b) 1998년 8월 5일 사상

그림 2. 상하류단 경계조건

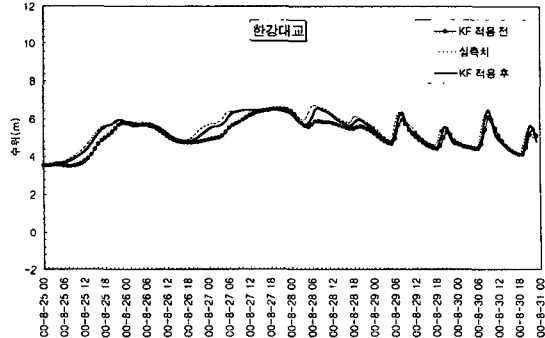
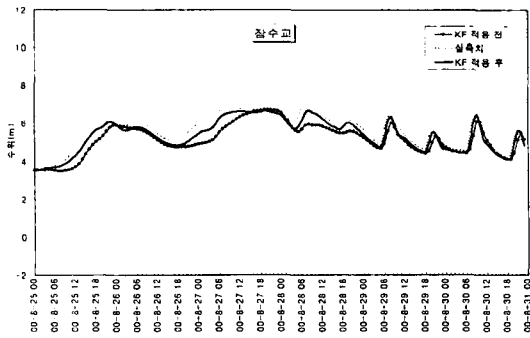


그림 3. 2000년 8월 25일 사상의 모의결과

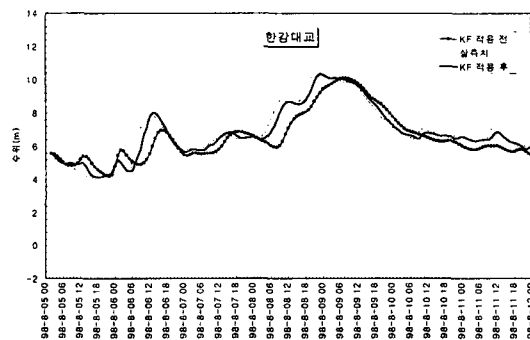
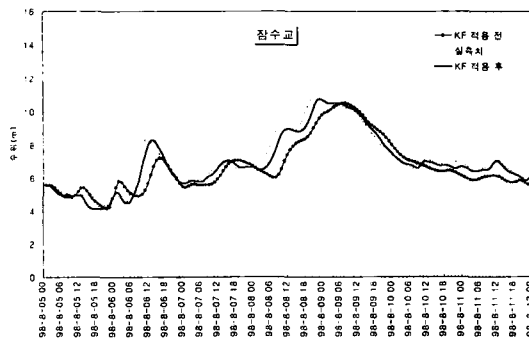


그림 4. 1998년 8월 5일 사상의 모의결과

상에 대한 팔당댐과 월곶지점에서의 상하류단 경계조건을 나타내고 있으며, 그림 3과 4는 잠수교와 한강대교 지점에서의 모의결과를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 확정론적 모형에서 수위차이가 많이 발생하였지만 Kalman Filter 기법을 적용한 후에는 실측수위와의 편차가 현저하게 줄어드는 것으로 나타났다. 표 1에는 두 사상에 대한 각 지점별 모의결과에 대한 RMS 오차를 나타내고 있다. 표에서 보는 바와 같이 실시간 모의기법을 적용함으로써 각각 27.32%와 43.47%의 비교적 높은 개선율을 얻을 수 있었다.

표 1. 실시간 모의기법의 모의결과 비교

지점명	2000년 8월 25일 사상				1998년 8월 5일 사상			
	RMS 오차(m)		개선율 (%)	비 고	RMS 오차(m)		개선율 (%)	비 고
	K-F 적용 전	K-F 적용 후			K-F 적용 전	K-F 적용 후		
팔당대교	0.349	0.375	-7.45		0.535	0.489	8.60	
잠실수중보	-	-	-	결 측	-	-	-	결 측
잠수교	0.543	0.260	52.12		0.922	0.374	59.44	
한강대교	0.371	0.176	52.56		0.876	0.336	61.64	
행주대교	0.277	0.175	36.82		0.731	0.408	44.19	
신곡수중보 상	0.324	0.211	34.88		-	-	-	결 측
신곡수중보 하	0.782	0.821	-4.99		-	-	-	결 측
전 류	-	-	-	결 측	-	-	-	결 측
평 균			27.32				43.47	

4. 결 론

본 연구에서는 한강에 구축되어 있는 홍수예경보시스템인 수리학적 홍수추적모형에 실시간으로 하도의 홍수예측을 수행할 수 있는 시스템을 구축하였다. 이를 위하여 확정론적 홍수추적모형에 Kalman Filter 기법을 이용한 추계학적인 방법을 적용하여 실시간으로 홍수위를 예측할 수 있는 실시간 홍수추적모형을 구축하였다.

이를 이용하여 2000년 8월 25일 사상과 1998년 8월 5일 사상에 대해 실시간 모의기법을 적용한 결과 확정론적 모형의 모의결과와 비교하여 많이 개선된 결과를 얻을 수 있었다. 본 연구에서 개발된 실시간 홍수추적모형을 한강의 홍수예경보시스템에 구축함으로써 홍수예측을 위해 인천조위로부터 변환된 월곶조위를 사용함으로써 인해 발생한 많은 오차들을 줄일 수 있게 됨에 따라 홍수예경보시스템의 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

5. 참고문헌

- 건설교통부 한강홍수통제소 (1988). **한강홍수예경보**.
- 김상호, 김창완, 김원, 한건연 (2000). "HEC-2 자료를 이용한 DWOPER-2K 모형의 개발." **2000년도 대한토목학회 학술발표회 논문집(III)**, 대한토목학회, pp. 213-216.
- 김상호, 김원 (2002). "한강하류부 흐름해석을 위한 수리학적 모형의 구축." **한국수자원학회논문집**, 제35권, 제5호, pp. 485-500.