

# 도시하천의 실시간 홍수예측서비스 개발

## A Development of Realtime Urban Flood Forecasting Service

김형우\*, 이종국\*\*, 하상민\*\*\*

Hyung Woo Kim, Jong Kook Lee, Sang Min Ha

### 요 지

급속한 도시화 및 지구온난화로 인한 집중호우로 홍수피해가 해마다 증가하고 있다. 홍수피해를 최소화하기 위하여 4대강 중심의 홍수예경보시스템이 구축되는 등 다양한 제도적 장치가 마련되고 있으나 중소하천이 분포되어 있는 도시유역에서의 홍수예측기능은 부족한 실정이다. 본 연구에서는 중소 도시하천에 적용 가능한 실시간 도시홍수예측서비스 시스템(Realtime Urban Flood Forecasting Service, U-FFS)을 개발하였다. 경기도 성남에 위치한 탄천을 대상유역으로 선정하고 실시간 강우 및 수위관측소를 설치하여 수문데이터를 수집하였으며 이를 바탕으로 수위예측모형을 구축하였다. 모형구축에는 이미 국내외 학계에서 그 정확도가 입증된 바 있는 Data-driven 모델의 일종인 ANFIS(Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System)를 이용하였다. 개발된 수위예측모형은 지정된 시간에 자동으로 작동 가능한 실행파일로 프로그래밍되어 최종적으로 홍수예측 웹서비스와 연동된다. U-FFS는 집중호우 발생 시 최종 유출구의 30분, 1시간, 2시간 후의 수위 예측값을 웹 상을 통해 제공함으로써 언제 어디서나 홍수예측 정보를 누구나 손쉽게 획득할 수 있는 장점이 있다. 시범운영 결과, 30분 및 1시간 후의 수위 예측은 정확도가 매우 뛰어났으며 2시간 후의 수위 예측의 정확성은 다소 떨어지는 것으로 확인되었으나 전반적인 홍수예측 판단에는 무리가 없을 것으로 예상된다.

본 시스템의 홍수예측모형은 생성 및 수정이 간편하여 그 활용성이 매우 높을 것으로 기대된다. 특히 안전함을 지향하는 각종 U-City나 홍수피해가 빈번한 도시유역에 적용하면 기존 시스템과 차별화된 실시간 홍수예측 서비스가 가능해져 홍수피해를 최소화할 수 있을 것이다.

**핵심용어 : 집중호우, 홍수예측서비스, ANFIS, 수위예측, U-FFS**

### 1. 서 론

급속한 도시화 및 지구온난화로 인한 집중호우로 홍수피해가 해마다 증가하고 있다. 홍수피해를 최소화하기 위한 방법으로 홍수조절댐, 저류지 등의 수자원시설물 건설을 통한 구조적인 대책과 홍수예보시스템과 같이 사전에 홍수를 예측하고 전파하여 피해를 저감시키는 비구조적 대책이 있다(강민구 등, 2005). 구조적인 대책은 예산확보나 환경문제 등의 난제들을 극복해야 하는 어려움이 있어 최근에는 홍수의 규모와 발생시간을 예측하여 사전 정보로 제공함으로써 그 피해를 최소화하는 홍수예보시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

일반적으로 홍수예보시스템은 각종 장비와 분석 소프트웨어가 통합된 하나의 시스템에서 현

\* 정회원 · 주식회사 케이티 미래기술연구소 연구부장 · E-mail : hyungwoo@kt.co.kr

\*\* 정회원 · 주식회사 데이터피씨에스 대표이사 · E-mail : jklee@datapcs.co.kr

\*\*\* 정회원 · 주식회사 데이터피씨에스 과장 · E-mail : sm-ha@datapcs.co.kr

계의 기상자료를 바탕으로 홍수 유출수문곡선을 예측하여 관련정보를 고지하는 일련의 과정으로 이루어진다. 지난 1974년 이래로 한강, 낙동강 등의 4대강 홍수통제소가 설립되어 대한천의 홍수예보가 이루어지고 있고 임진강과 안성천 등의 주요 중소하천 홍수예보시스템, 국지성 집중호우를 대비한 돌발홍수예보시스템 등이 개발되어 운영 중이다. 국가기관을 중심으로 운영되고 있는 이러한 시스템들은 지속적인 연구를 바탕으로 그 기능이 향상되어 홍수 재해 방지의 유용한 대책으로 사용되고 있지만 유역면적이 비교적 작은 도시하천의 홍수예보에는 다소 적합하지 않다. 도시하천 유역은 상대적으로 불투수면적의 비율이 높기 때문에 홍수 도달시간이 매우 짧다. 짧은 도달시간으로 인해 호우에 따른 하천유량의 변동폭이 크고 이는 홍수피해를 미연에 방지하기 위해서는 신속한 대처가 필요함을 의미한다.

본 연구에서는 상기의 문제인식을 바탕으로 중소 도시하천에 적용 가능한 실시간 도시홍수 예측서비스 시스템(Realtime Urban Flood Forecasting Service, U-FFS)을 개발하였다.

## 2. 실시간 도시홍수예측 서비스(Realtime Urban Flood Forecasting Service)

### 2.1 U-FFS 개요

경기도 성남에 위치한 탄천을 대상유역으로 선정하고 실시간 강우 및 수위관측소를 설치하여 유역의 수문 데이터를 수집하여 탄천유역 U-FFS를 구축하였다. U-FFS 구축은 아래 그림 1에서 제시한 일련의 과정을 통해 개발된다.

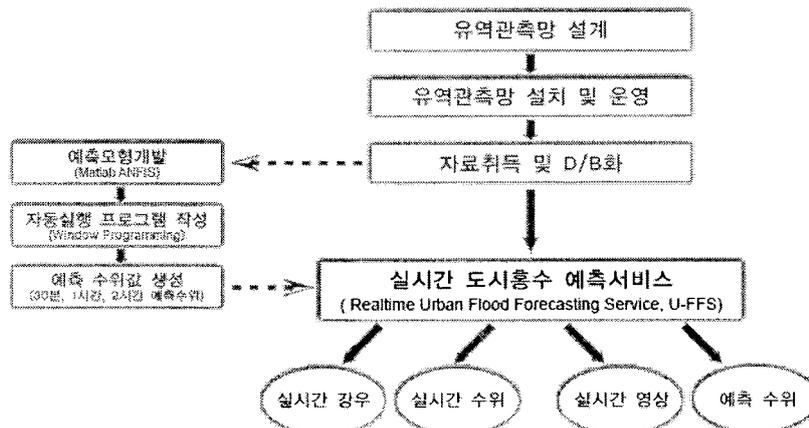


그림 1. U-FFS 구축 과정

U-FFS에 적용된 예측모형은 이미 국내의 학계에서 그 정확도가 입증된 바 있는 Data-driven 모델의 일종인 ANFIS(Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System)를 이용하였다. 개발된 예측모형은 지정된 시간에 자동으로 작동 가능한 실행파일로 프로그래밍되어 유출구의 예측수위 값을 생성하며 최종적으로 홍수예측 웹서비스와 연동되어 U-FFS를 완성하게 된다.

탄천유역의 U-FFS는 집중호우 발생 시 최종 유출구인 대곡교 지점에서의 30분, 1시간, 2시간 후 예측 수위 값을 웹 상을 통해 제공함으로써 언제 어디서나 홍수예측 정보를 사용자에게 제공한다. 또한 대상 유역의 실시간 강우 및 수위자료와 최종 유출구의 영상자료를 다양한 컴포넌트 형태로 제공하고 있어 유역의 개황을 파악할 수 있는 부가기능이 있다.

## 2.2 유역선정 및 관측망 구축

### 2.2.1 시범유역 선정

신도시 분당에 위치한 탄천유역은 하천을 중심으로 도시가 형성되어 있기 때문에 홍수 피해에 대한 민감도가 상대적으로 높으며, KT 본사가 위치하여 다양한 유비쿼터스 통신 인프라를 활용하기가 용이하다. 또한 도시화, 정보화의 측면에서 볼 때 향후 건설된 U-City와 유사한 면이 많을 것으로 예상되므로 본 연구에서 개발될 U-FFS의 활용성을 증대할 수 있는 이점이 있다. 이러한 측면을 고려하여 탄천유역을 본 연구의 시범유역으로 선정하였다.

### 2.2.2 유역관측망 구축

적용 대상유역은 구미교가 위치한 동막천과 탄천본류의 합류 지점부터 대곡교가 위치한 세곡천을 포함한 지역이다. 구미동, 서현동, 하대원동, 운중동, 복정동(대곡교)의 5개소를 강우관측소로 선정하고 수위관측소는 상류의 구미교와 최종 유출구인 대곡교로 선정하였다. 서현동과 하대원동의 강우관측소와 구미교의 수위관측소는 (주)데이터피씨에스에서 수년간 운영해온 기존의 관측소들이며 나머지 강우 3개 지점 및 대곡교 수위는 본 연구를 위해 신규로 설치된 관측소이다. 대상 유역 전체의 강우 양상을 파악할 수 있도록 유역의 면적과 형상을 고려하여 5개 지점의 강우관측소를 효율적으로 배치하였으며 최종 유출구인 대곡교와 유역입구인 구미교에 수위관측소를 설치하여 유역의 유출양상을 파악할 수 있도록 관측망을 설계하였다. 각 관측망의 자료는 CDMA 무선데이터 통신을 이용하여 매 30분마다 10분 자료의 형태로 지정된 서버로 전송된다. 최종 구축된 유역관측망의 현황을 다음 표 1에 제시하였다.

표 1. 유역관측망의 현황

	강우 관측소	수위 관측소	영상 관측소
설치지점	구미동, 서현동, 하대원동, 운중동, 복정동 (5개소)	구미교, 대곡교 (2개소)	대곡교 (1개소)
센서타입	전도형 우량계(0.5mm 버킷)	초음파 수위센서	디지털카메라
데이터전송방식	CDMA 무선데이터 통신		
비고	신규 3개소, 기존 2개소	신규 1개소, 기존 1개소	기존 1개소

## 2.3 수위예측 모형 개발

### 2.3.1 ANFIS 모형

유역의 유출량을 모의하고 홍수를 예측하기 위한 전통적인 기법인 수문모형을 이용한 유출모의기법은 유역의 매개변수 산정 과정과 모형 알고리즘에 많은 불확실성을 포함한다. 통상적으로 이와 같은 불확실성을 제거하기 위하여 유역특성 및 유출과정의 매개변수들을 실측자료에 근거하여 보정함으로써 모형의 적정성을 검토하고 신뢰성 있는 예측결과를 획득하기 위한 과정을 거치게 된다. 하지만 최근에는 이러한 불확실성을 적극적으로 인정하고 수학적으로 해석하기 위하여 신경회로망 이론이나 퍼지이론에 신경망을 도입한 뉴로-퍼지이론과 같은 기법을 수자원 분야에 적용하기 위한 다양한 시도들이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 신경회로망 이론과 퍼지 이론이 결합된 적응형 신경망-퍼지 추론 모형인 ANFIS를 도입하여 수위 예측모형을 구축하였다. ANFIS

는 신경망이론의 구조와 학습능력을 이용하여 제어환경으로부터 얻은 입출력 정보의 소속함수와 제어규칙을 제어대상에 맞게 자동 조절하는 방식으로서 Data-driven 모형의 일종이다. ANFIS 모형 구축을 위해 수치연산 전문 프로그램인 Matlab에서 제공하는 'Fuzzy Logic Toolbox'를 이용하였고 모형의 입력자료는 대상유역의 2006년 강우 및 수위 자료이며 출력자료는 최종 유출구의 30분, 60분, 120분 후의 수위 값이다. 금강 보청천유역의 유출수문곡선 예측(안상진 등, 2001)이나 라인강 유출 모의(Shrestha 등, 2005)의 연구 결과를 보면 ANFIS 모형의 우수한 신뢰도를 확인할 수 있으며 Data-driven 모형의 특성상 데이터의 축적에 따라 정확도가 향상되므로 앞으로의 호우 사상에 따른 검증과정을 거쳐 본 모형의 신뢰성도 충분히 확보될 것으로 판단된다.

### 2.3.2 실시간 모형 연동

U-FFS는 홍수예측 정보를 간단한 웹 접속으로 언제, 어디서나 실시간으로 제공할 수 있어야 하므로 예측 모형을 자동화하고 웹사이트와 연동하는 과정이 필요하다. 따라서 예측모형의 실행에 필요한 입력자료를 자동 생성하고 개발된 ANFIS 모형을 standalone 환경에서 실행가능 하도록 프로그래밍을 수행하였다. 또한 예측수위 값을 포함한 출력파일을 D/B화하여 최종적으로 웹 사이트와의 연동을 가능케 하였다.

## 2.4 실시간 홍수예측서비스 웹 모니터링 시스템 구축

유역 관측망의 실시간 데이터와 ANFIS 자동실행 프로그램을 통해 생성된 예측수위 데이터를 바탕으로 실시간 홍수예측서비스 웹 모니터링 시스템을 구축하였다. 구축된 웹 모니터링 시스템에서는 대상 유역정보, 유역의 실시간 강우, 수위 및 대곡교 지점 영상 정보와 홍수예측의 가장 중요한 요소인 예측 수위 정보를 제공하고 있다. 다음 그림 3과 그림 4에서 보듯이 유역의 개황을 파악할 수 있는 관련정보를 실시간 차트와 다양한 컴포넌트를 제공하고 있다.

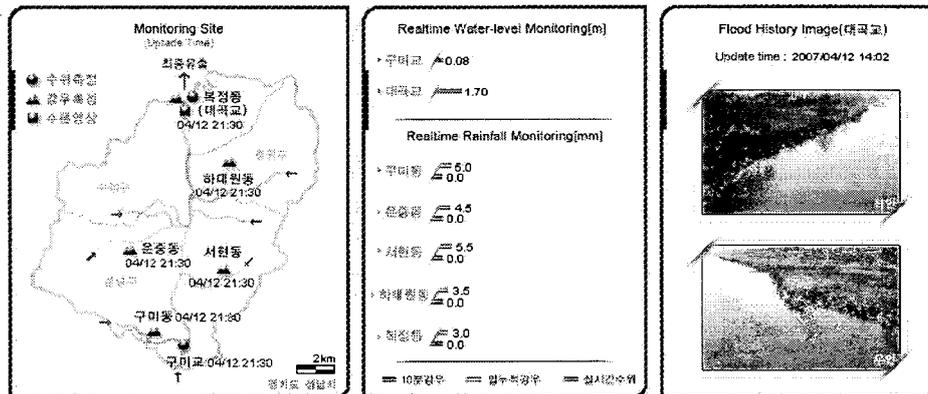


그림 3. 유역정보 플래시 컴포넌트

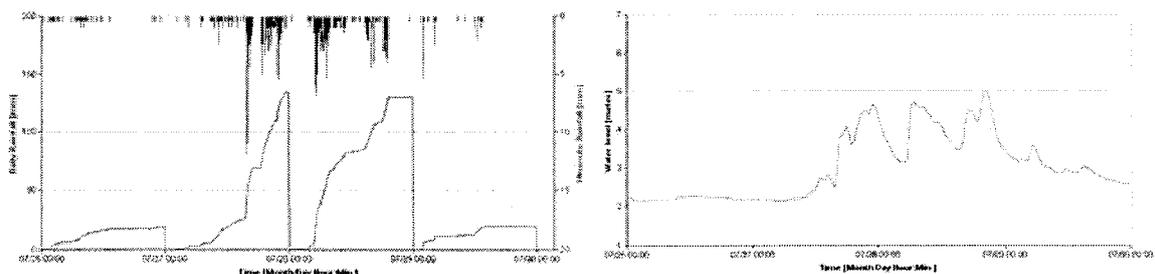


그림 4. 실시간 강우 및 수위 차트 컴포넌트 ( 2006년 호우사상 )

홍수 판단의 기준이 되는 수위예측 정보는 다음 그림 5와 같은 형태로 제공된다. 최종 유출구의 현재 수위와 30분후, 60분후, 120분후의 예측수위를 표현하고 홍수통제소에서 제공하는 주의보수위와 경보수위와의 비교를 통해 홍수피해 가능성의 “안전, 주의, 위험”을 결정한다. 추가적으로 현재의 수위 값과 예측 수위 값을 차트로 표현하여 수위의 상승 및 하강 추세를 판단하는 근거를 제공하고 있다.

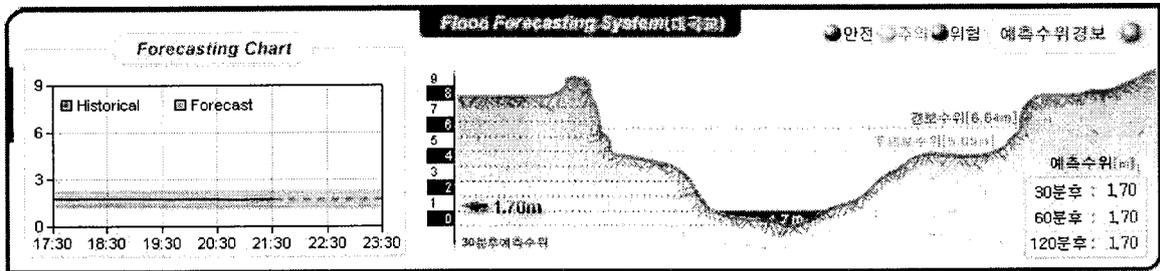


그림 5. 홍수예측 컴포넌트

웹 사이트 '<http://host.datapcs.co.kr/flood>'에 접속하여 최종 구축된 실시간 홍수예측 서비스 웹 모니터링 시스템을 확인할 수 있다.

### 3. 결 언

중소 도시하천의 홍수 가능성을 수위예측을 통해 정보화하고 이를 효과적으로 다수의 사용자들에게 고지함으로써 홍수피해를 최소화할 수 있는 U-FFS를 개발하고 탄천 유역에 적용해보았다. 본 연구에서 개발된 U-FFS에서는 기존의 모형 구축과정에서 필수적인 유역의 물리적, 지형 자료와 같은 방대한 자료를 배제하고 유역의 강우 자료와 수위 자료만을 이용하여 예측모형을 구축하였다. 유역특성을 반영하는 복잡한 매개변수가 불필요한 Data-driven 방식의 모형구축은 개발이 비교적 간단할 뿐만 아니라 단시간 내에 신뢰성 높은 결과를 획득할 수 있으며 유역 내의 상황이 변하더라도 모형을 쉽게 갱신할 수 있는 장점이 있다. 또한 정보전달의 방식이 상기에서 설명하였듯이 웹 사이트를 통한 다양하고 가독성 높은 컴포넌트 형태로 제공하고 있어 한정된 사용자뿐만 아니라 모든 시민들에게 친숙하게 홍수예보 정보를 전달할 수 있다. 이와 같은 U-FFS의 특성을 효율적으로 활용하면 홍수피해가 빈번한 소규모 도시하천 및 향후 건설될 U-City에 충분히 적용할 수 있을 것으로 예상된다.

### 참 고 문 헌

1. 안상진, 전계원, 김진극(2001). 중소하천의 유출수문곡선 예측을 위한 ANFIS의 적용, 건설기술연구소 논문집, 제20권 제2호, pp. 95-104.
2. 강민구, 고덕구(2005). 실시간 유입 홍수량 예측을 통한 홍수 피해 저감, 한국수자원학회지, 제38권 제6호, pp. 56-62.
3. 김양수(2006). 홍수예보 현황, 한국수자원학회지, 제39권 제7호, pp. 24-28.
4. 한강홍수통제소 홈페이지(2007). 한강홍수통제소, <http://www.hrfco.go.kr>
5. 강민구, 고덕구(2005). 실시간 유입 홍수량 예측을 통한 홍수 피해 저감, 한국수자원학회지, 제38권 제6호, pp. 56-62.
6. Shrestha, R.R, Franz Nestmann(2005). River Water Level Prediction Using Physically Based and Data Driven Models, MSSANZ International Congress on Modelling and Simulation, pp. 1894-1900.