

강우정보와 연계한 실시간 도시홍수 예·경보 체계



한 건 연
경북대학교 토목공학과 교수
kshanj@knu.ac.kr



김 호 준
경북대학교 방재연구소 박사후연구원
hojunkeum@naver.com



김 현 일
경북대학교 토목공학과 박사과정
hyunn228@gmail.com

교하여 2000년대에 약 30% 정도 증가하였다. 이러한 집중호우는 도시지역에 대하여 심각한 침수 피해를 일으키고, 근래에 침수 피해 사례가 지속적으로 나타나고 있다. 서울정책아카이브의 ‘서울시 치수관리 정책(2015)’에 따르면, 급격한 경제개발 및 산업화에 따른 도시화가 진행함에 따라 불투수율이 증가하였으며, 급격한 도시화에 따른 인구밀도의 증가는 침수 피해를 더욱 악화시킨다. 이러한 문제는 서울시 뿐만 아니라 최근 도심지에 대한 공통된 홍수피해에 대한 요인이라 판단된다. 이에 자료 분석 및 도시 침수해석을 수행함으로써 종합적인 대비 및 대응 체계와 함께 짧은 도달시간을 가지는 도시홍수에 대하여 충분한 선행시간을 확보 할 수 있는 예·경보 시스템에 대한 구축이 필요한 실정이다. 도시침수에 대한 예·경보는 실시간으로 수행되어야 하며 이를 위해 전국적인 기상예측시스템, 우량계망, 이중편파 레이더 등을 통한 자료를 수리·수문학적 해석과 연계해야 한다. 효과적인 홍수 예·경보를 위해서는 최적의 정보발령 기준을 제시해야 하며, 비상대처계획 및 방재당국에 대한 요구를 충족할 수 있어야 한다. 위와 같은 조건이 충족이 됨으로써 충분한 대응시간을 확보하여, 구조물적 대책과 방재활동을 통한 홍수피해를 저감할 수 있을 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 도시홍수 예·경보에 대한 방법론과 주요사항을 기술하고자 한다.

1. 서론

강우의 집중시간이 짧고, 강우강도가 큰 복합호우의 발생빈도가 기후변화의 영향으로 증가하고 있다. 기상청(Korea Meteorological Administration)에 따르면 집중호우의 발생 빈도를 가늠하는 1시간 최다강수량 50mm이상의 기록 횟수를 분석한 결과 최근 10년간 집중호우 발생횟수가 크게 증가하였으며, 발생빈도가 1980년과 비

2. 본론

도시지역에 발생하는 돌발홍수에 대하여 예·경보를 실시하기 위한 표준화된 방법은 존재하지 않으며, 국가마다 상당히 상이하다. 그러나 일반적으로 홍수가 시작되어 진행됨에 따라 수행되어야 할 주요 활동이 있으며, 아래 표 1을 통하여 이에 대한 몇가지 전형적인 사례를 제시하고자 한다.

도시홍수 예·경보를 확정론적 방법을 통하여 실

시할 경우에도 사전에 수행되어야 할 작업이 있다. 실시간 레이더 자료 등을 활용하여 선행시간을 충분히 확보하여야 하며, 실시간 도시 예·경보를 위해서는 예보자료의 품질관리, 도시공간정보 자료의 상세화, 침수해석기법의 정교화, 강우자료와 기상예보의 정확성 및 신뢰성의 확보가 선행되어야 한다. 이에 대한 개념도는 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

도시홍수 예·경보 기법의 분류에 있어서 각 시

표 1. 홍수 예·경보를 위한 초기 대응 방법

단계	설명
인력 배정	상황실 직원을 24시간 운영하고, 담당자에게 경보를 발령하며 핵심 설비와 소프트웨어(시스템)가 정상 운영 중인지 등을 점검
모니터링 및 예측	하천, 강우 및 기타 상황에 대한 감시활동을 강화하고, '만약의 상황'에 대한 시나리오를 활용하여 예측 모델을 상시 운영
상황별 대응	수방시설물 점검과 주요지점의 현장 순찰을 위해 직원을 배치하고, 홍수조절시설물의 운영을 준비하며 필요한 경우 방재활동을 지원
초기 경보	인터넷, 휴대전화, 라디오, 뉴스 단신 등 다양한 방법을 활용하여 초기 홍수 감시, 홍수 경보, 또는 이와 유사한 메시지를 발령
기관간 협력	예상 피해규모와 영향에 대해 기상 예보관, 방재 당국, 긴급 대응요원, 미디어 및 기타 인력들과 협의지속. 상황 보고서와 경보 업데이트 내용을 작성

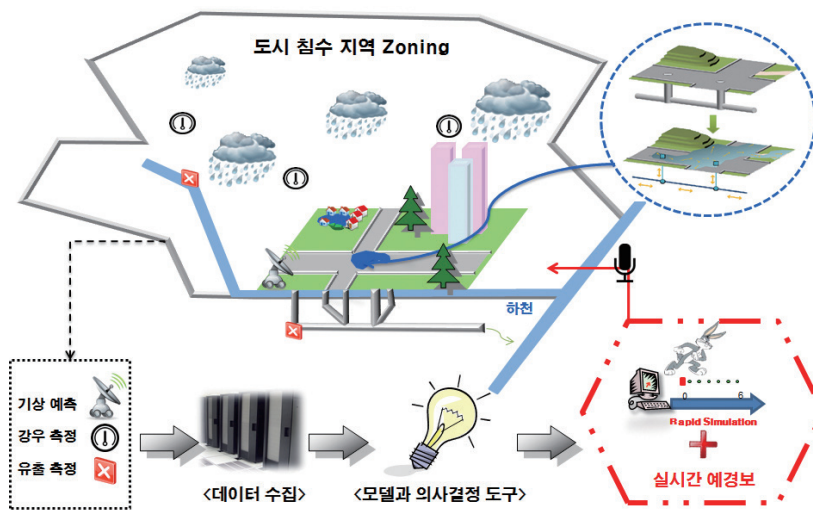


그림 1. 실시간 도시홍수 예·경보의 개념도

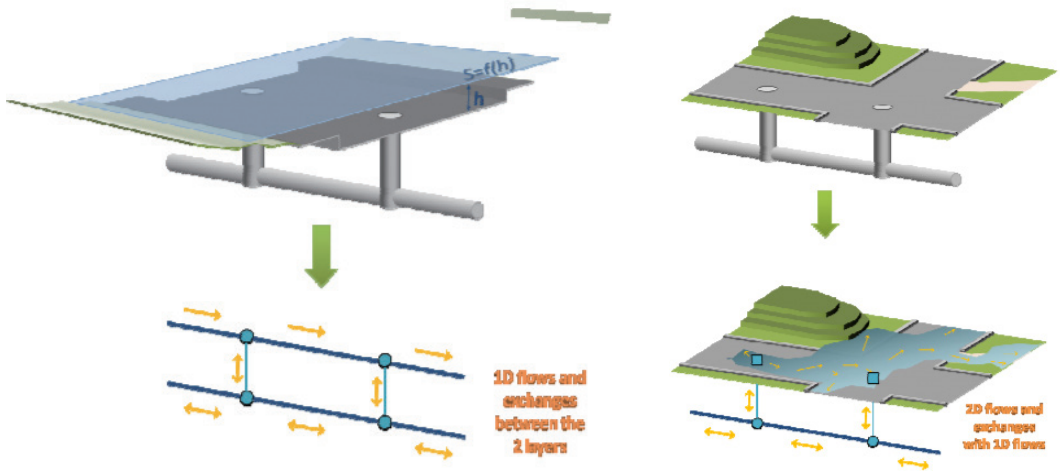


그림 2. 1D-2D 모형의 연계 해석

스텝은 강우예보를 근거로 해야 하고, 강우정보는 전국적인 기상예측시스템, 강우관측소, X-band 레이더 등을 통해 얻을 수 있어야 한다. 근래에 도시침수와 하수관망의 홍수제어능력을 연구하는데 다양한 모델링에 대한 연구가 진행중에 있다. 확정론적 방법만을 이용하여 예·경보를 수행했을 경우 실시간 적용에 적합하기엔 계산적으로 너무 많은 시간이 소요 될 가능성이 있다. 이러한 기법에는 1차원 모형, 1-2차원 연계 모형, 단순수문모형 등 다양한 선행 연구가 존재한다. 확정론적 방법을 통하여 하수관망의 상호작용과 지표수를 더욱 현실적으로 재현하기 위해서는 1차원 도시유출해석 모형과 2차원 도시 침수해석 모형을 동적 결합하는 것, 즉 1-2차원 해석의 결합이 있다(그림 2). 시뮬레이션에 대한 시간적 소요 문제에 대해서는, 검증된 확정론적 기법과 확률론적 기법 및 실시간 관측자료의 연계를 통하여 해소될 수 있다. 다음과 같은 실시간 홍수예보를 위한 방법론이 존재하며, 각 개별의 기법마다 상이한 특징이 있다.

2.1 강우정보 및 홍수흔적만을 기반으로 하는 실시간 홍수예보

홍수예보를 위해 대표적으로 과거 강우 정보를

이용한 모델링 연구를 고려하여 구축된 ‘시나리오 기반’ 예보 시스템이 있다. 강우정보 및 경험적 시나리오에 기반하는 실시간 홍수예보 자료는 홍수예보를 위해 이용된다. 시나리오는 과거 홍수사상, 관련 홍수흔적 정보 등을 바탕으로 구축된다. 시스템에서 관련 기술은 단순하지만 적절한 시나리오를 정의하기 위해서는 자료 평가와 검증이 중요하며, 예보 결과는 품질관리에 영향을 많이 받으므로 전처리 작업에 대한 많은 시간이 소요되어야 할 것으로 판단된다. 이러한 유형의 시스템은 연속적인 절차가 아니므로, 시스템에 대한 최신화가 어려울 수 있으며, 지식이나 노하우 등의 손실 위험이 있는 단점이 있다.

2.2 강우정보와 시뮬레이션 정보를 기반으로 하는 실시간 홍수예보

강우정보와 사전에 실시된 시뮬레이션 시나리오를 기반으로 하는 실시간 홍수예보는 시뮬레이션 시나리오 결과의 자료를 입력자료로서 사용하고 강우 및 홍수예측을 실시하는 것이다. 시나리오 오는 자료 복구 및 처리, 수리학적 시뮬레이션 등을 포함한 사전조사계획을 바탕으로 선정되어야 한다. 이용 가능한 모형과 홍수의 종류에 따라 다

양한 모델링 전략과 모형수준을 다양하게 적용할 수 있으며, 시뮬레이션 시나리오의 정확도는 모형들과 입력 및 보정 자료의 질에 따라 상이하게 나타날 수 있다. 이러한 유형의 시스템에서 주요한 문제는 수리학적 배수체계에서 큰 변화가 발생했을 때에 시나리오 결과를 갱신하는 것과 시나리오에 대한 적절한 조치를 취하는 것으로 볼 수 있다. 또한, 경고발령 수준은 신중히 선정하여 제시된 시나리오 목록이 전체 홍수 사상을 모두 포함할 수 있도록 해야 한다. 따라서, 주기적인 시나리오 업데이트가 필요하며, 이를 통해 발생할 수 있는 가능한 기후 변화의 영향들도 역시 고려되어야 한다.

2.3 실시간 자료동화를 기반으로 하는 실시간 홍수예보

실시간 자료 동화를 바탕으로 한 온라인 모델링은 예·경보를 위한 강우예측을 수행하기 위해 적용된다. 이러한 유형의 시스템은 유효 강우에 따른 유출 거동을 예보하기 위한 실시간 모델링 기법을 바탕으로 한다. 시뮬레이션 시스템은 단순 수문학적 모델을 포함하여 배수체계 또는 하천을 나타내는 1차원 수리모델이 있으며, 다차원적인 홍수 예측을 위하여 2차원 수리모델까지 포함될

수있다. 오프라인으로 수행되는 시뮬레이션의 결과 자료에 대한 평가를 위하여 추가로 데이터베이스 저장이 이루어질 수도 있다. 이러한 시스템에서 주요한 문제는 강우예보시스템과 모형 보정에 따라 달라지는 예보의 정확도이다. 큰 변화가 발생했을 시에 모형을 개선하는 것과 전체 시스템을 유지 보수하는 것으로서 예보 정확도를 보장하기 위해 자동화 및 연속 보정이 필요하다.

2.4 원격 측정 시스템과 피드백을 통한 실시간 홍수예보

다양한 원리에 기반한 원격 측정 시스템과 피드백을 통한 실시간 홍수예보는 앞서 설명한 온라인 모델링 예보시스템에 대한 사용 자료에 더불어 실제 네트워크 통제장치의 자동원격통제를 포함하게 된다. 원격 측정기는 이러한 시스템의 핵심 기술이라 할 수 있는데, 원격 측정기의 통제 시스템이 효과적이고 안전하게 조작될 것이라는 점을 확실히 해야한다. 또한, 홍수예보 모형 별 입출력 자료에 대한 송신 및 수신 자동화 기법이 필요로 하게 된다. 예보시스템을 위한 모든 유형의 자료는 지속 가능하며 사용자의 결정에 기반한 공학적 자료이어야 한다. 최종사용자가 예보에 쉽게 접근이 가능해야하며, 예보 대상자 및 기관이 이를 쉽게

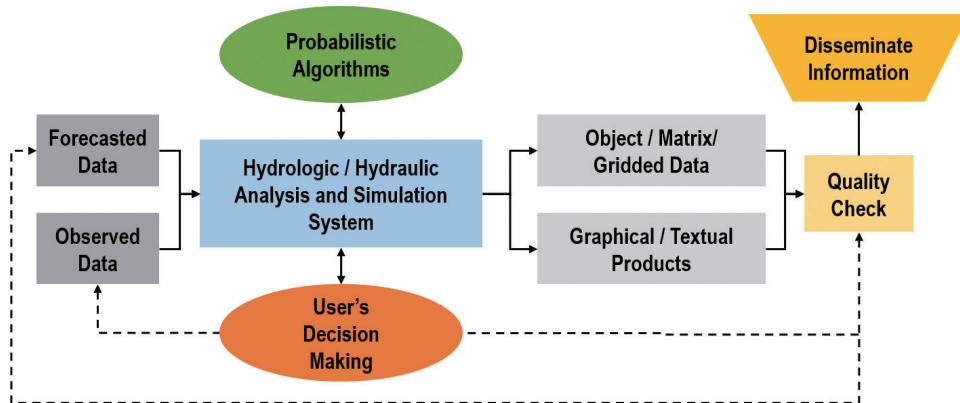


그림 3. 자료동화 기반 홍수예보

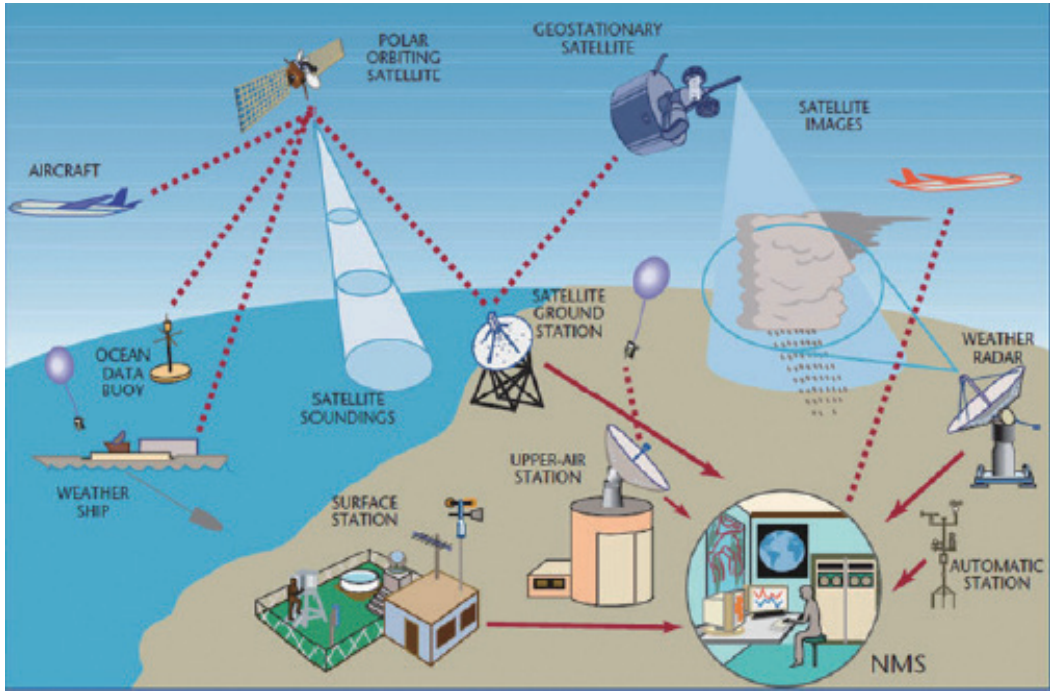


그림 4. 도시지역 홍수예보를 위한 Global Observing System 구축방안(WMO, 2006)

이해할 수 있도록 구성이 되어야 한다.

3. 결론

도시지역 실시간 홍수예보의 유형으로서는 강우정보 및 홍수흔적만을 기반으로 하는 실시간 홍수예보, 강우정보와 시뮬레이션 정보를 기반으로 하는 실시간 홍수예보, 실시간 자료동화를 기반으로 하는 실시간 홍수예보, 원격 측정 시스템과 피드백을 통한 실시간 홍수로 고려 될 수 있다. 모든 방법론에 공통적으로 도시 홍수 예·경보에 앞서 강우예보 및 수리모형 결과 자료에 대한 질적 평가가 이루어져야 한다. 모형의 결과 해상도와 계산 시간, 수문 순환 표현 등이 검토되어야 하며, 침수 예·경보 내용의 품질측면에서는 경보수준 설정, 시스템 시간단계, 오류 및 불확실성, 경보 내용 및 소통 등이 중요한 검토사항이다. 홍수가 발

생하고 있는 기간 중에 홍수의 규모, 정도 및 영향에 관한 많은 유용한 정보를 수집할 수 있어야 하며, 이는 추후 홍수의 위험정도를 평가하고 감시, 예측 및 경고 시스템의 개선에 도움이 될 것으로 판단된다. 도시 홍수 예·경보는 인구 및 취약한 집단을 고려하여 다양한 방법으로 실시간으로 전파되어야 한다. 성공적인 정보체계 구축을 위해서는 지역사회 구성원 및 기타 유관 기관과의 광범위한 협의가 이루어져야 하며, 공공 교육 캠페인 및 과거의 최대 침수흔적에 대한 문제점이 사회적으로 논의되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 물관리연구사업(18AWMP-B079625-05)에서 지원받았습니다.



수재해 정보플랫폼 융합기술 연구단 (2016). WHAP 기술보고서, 도시지역 실시간 침수 예·경보 기술.

Andryszewski, A., Evans, K., Haggett, C., Mitchell, B., Whitfield, D. and Harrison, T. (2005). Levels of service approach to flood forecasting and warning. ACTIF international conference on innovation advances and implementation of flood forecasting technology, 17–19 October 2005, Tromsø, Norway.

Betts, R. (2003). The missing links in community warning systems: findings from two Victorian community warning system projects. Aust J Emerg Manag, Vol. 18, No. 3, pp. 37–45.

Sene, K. (2013). Flash Flood – Forecasting and Warning–, Springer.

World Meteorological Organisation. (2006). Preventing and mitigating natural disasters: Working together for a safer world. WMO–No. 993, Geneva