

국내외 도시 침수 예측 및 대응 시스템 동향 연구

정기숙, 장윤섭

한국전자통신연구원

kschung@etri.re.kr, ychang76@etri.re.kr

A Study on Urban Flood Prediction and Response Systems

Ki-Sook Chung, Yoon-Seop Chang

Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

본 논문은 최근 기후변화로 인한 국지성 집중호우와 초단기 강수 빈도의 증가에 따라 급격히 확대되고 있는 도시 침수 피해를 예방하고 대응하기 위한 국내외 도시 침수 예측 및 대응 시스템 동향을 조사하였다. 우수 배수 시스템, 빗물 저장 및 저류시설, 대심도 빗물 터널 등 국내외에 구축된 인프라 현황과 더불어, GIS 기반 실시간 모니터링과 인공지능, IoT 기술을 활용한 첨단 도시 침수 예측 및 대응 시스템 사례를 분석하였다.

I. 서 론

최근 기후변화로 인한 국지성 집중호우와 초단기 강수의 빈도가 증가하면서, 도시지역의 침수 피해가 급격히 확대되고 있다. 2025 년 7 월 중순부터 남부지방과 수도권 등지에 시간당 100mm 를 넘는 ‘물폭탄’ 급 집중호우가 쏟아지며 도심 침수, 인명 피해, 대규모 재산 피해가 속출했다. 특히, 광주에서는 시가지 곳곳이 완전히 물에 잠기고, 하천이 범람하여 주요 도로망이 마비되고, 수천 건의 침수 신고가 접수되는 등 2020 년 이후 5 년 만에 최대 규모의 도시 침수 피해를 입었다. 서울 동부, 경기도 일부 지역에서는 시간당 100mm 를 웃도는 강우로 인해 주요 도로와 지하차도가 침수되고, 천호지하차도와 같은 교통 요충지에서도 차량과 시민이 고립되는 사고가 발생하였다[1].

본 논문에서는 국내 뿐만 아니라, 전세계적으로 발생하고 있는 극한 호우로부터 도시 침수를 예방하고 대응하기 위한 여러가지 노력을 살펴보고 국내외에서 개발되고 있는 도시 침수 예측 및 대응 시스템들의 개발 및 적용 현황을 살펴보고 적용 기술 동향 및 앞으로의 발전 방향을 모색해 보고자 한다.

II. 도시 침수 예방 및 대응

도시 침수는 도시의 불투수면적이 증가하고 배수 체계의 한계로 인해 주로 발생하며, 외수위로 인한 내수 배제, 하수관로의 통수능 부족, 빗물펌프장과 저류조의 운영 상황 등 침수를 유발하는 원인이 복잡하다[2]. 극한 호우에 의한 도시 침수는 강우 발생 후 짧은 시간안에 침수로 이어지며 강우량 뿐만 아니라 지형, 배수망 구조, 토지 이용, 도로 형상 등 다양한 요인의 상호작용이 원인이 되며, 하수관거, 펌프장, 저류시설, 배수문 등의 도시 인프라의 동작 여부가 도시 침수에 대한 예측 및 대응을 결정짓는다. 이 장에서는 국내외의 도시침수 예방을 위한 시설 및 인프라 현황을 먼저 살펴

보고 도시 침수 예측 및 대응을 위한 시스템 개발 현황을 살펴 보기로 한다.

1. 도시 침수 대응을 위한 인프라 현황

도시 침수를 미리 방지하거나 완화하기 위한 방재 시설 및 인프라는 우수 배수 시스템, 빗물 저장 및 저류 시설, 빗물터널, 배수 터널 등이 있다.

- 우수 배수 시스템
도심의 빗물을 신속히 배제하기 위한 하수도 및 배수관망으로, 배수 용량을 증대하고 노후 관로를 개량하며, 도로변 빗물받이와 하수관을 정기적으로 준설·정비하여 폭우 시 빗물이 빠르게 하천으로 흐르게 하여 내수침수 위험을 낮출 수 있다.
- 빗물 저장 및 저류 시스템
폭우 시 일시적으로 빗물을 모아두는 시설로, 평시에는 비어 있다가 강우 시 초과분의 물을 저장하여 홍수 피크를 완화한다. 소규모로는 건물이나 지하에 설치되는 빗물저류조가 있으며, 대규모로는 조절지나 우수 저류 터널 형태가 있는데, 일본 도쿄도는 도심 곳곳에 총 27 개의 조절지를 구축하여 최대 264 만 m³의 빗물을 임시 저장함으로써 호우 시 하천 범람을 억제하고 있다[3].
- 대심도 빗물 터널
대용량의 우수를 지하 깊은 곳의 거대한 터널에 모았다가 천천히 배출하는 최첨단 배수시설이다. 서울 양천구 신월동에 국내 최초로 조성된 대심도 빗물저류배수시설(일명 신월빗물터널)의 경우 지하 40m 깊이에 길이 4.7km 의 터널을 구축하여 시간당 100mm 의 폭우에 대응 가능하고 최대 32 만 톤의 빗물을 저장할 수 있다[4]. 이 터널은 폭우 시 신월동·화곡동 일대 빗물을 모았다가 호우 후 펌프로 하천에 방류하며, 2022 년 8 월 서울 폭우 때 약 600 여 세대의 침수 피해를 예방한 것으로 추산된다. 대심도 터널은 상습 침수지역의

근본적 대책으로 주목받고 있으며, 서울시는 향후 강남역·광화문 등 6 곳에 추가 건설할 계획을 추진 중이다[5]

● 배수 펌프장

지형적으로 저지대 지역이나 자연배수가 어려운 지하공간에서는 펌프를 이용해 빗물을 강이나 바다로 퍼올려 내보낸다. 펌프장은 하천 수위가 높거나 배수로의 경사가 완만해 물이 저절로 빠지지 않을 때 침수 방지의 핵심 역할을 하게 된다. 일본 도쿄의 쇼와 배수 펌프장은 지하 방수로에 모인 물을 한강으로 내보내는 시설로, 대형 가스터빈 펌프 4 대를 가동하여 초당 200 m³의 물을 강제로 배출할 수 있다[3]. 싱가포르는 2008 년 도심 하구에 방조제를 세워 바닷물을 차단하고 담수호를 만드는 프로젝트를 수행하여 마리나 배리지(Marina Barrage)를 완공하였다. 평소에는 식수원 역할을 하지만, 폭우 시에는 9 개의 수문을 열어 바다로 물을 빼내고, 만조일 때는 세계 최대 규모의 펌프장으로 초당 수백 톤의 물을 강제로 배출함으로써 도심 침수를 막는 역할을 한다[6].

2. 도시 침수 예측 및 대응 시스템 현황

도시 침수를 예방하고 대응하기 위한 물리적 인프라 뿐만 아니라, 도시 침수 예측 모델을 통한 시뮬레이션, AI 기술을 활용한 홍수 예측, 실시간 수문 모니터링 및 분석 기술 등을 기반으로 한 디지털 시스템을 개발하고 있다.

● 디지털트윈 기반 도시침수 스마트 대응시스템(광주, 포항 창원) [7]

대상 지역의 고정밀 공간정보를 활용한 가상모형(디지털 트윈) 시스템에 사물인터넷 감지기(IoT 센서), 폐쇄회로 텔레비전(CCTV) 등 현장 계측정보를 연계하여 침수가 발생하거나 우려될 때 지역 주민에게 신속하게 홍수 위험 정보를 제공

● 도시침수통합정보시스템(부산)[8]

부산시의 실시간 침수 위험 정보 제공, 대피 경로 안내, 도로 및 교통 통제 정보 통합, 대피시설 운영 현황 확인 지원

● RAINSYS(Real-time Alert for INundation SYStem)(한국 국립재난안전연구원) [9]

실시간 강우 현황분석 및 모니터링, 침수 위험 알람, 침수예상도 제공 등 도시침수 상황관리 의사결정 지원을 위한 도시침수 모니터링 시스템

● FloodNet (뉴욕) [10]

뉴욕시의 도시 침수(urban flood)를 실시간으로 모니터링하고, 시민 및 관련 기관에 접근 가능한 데이터를 제공하여 침수 대응과 도시 회복탄력성 향상을 지원하는 시스템. 초음파 거리 측정 센서로 침수 깊이를 측정하며, 1 분 단위로 데이터를 수집해 무선 네트워크로 전송하여 서버에 저장, 대시보드에 실시간으로 표시

● Tokyo Metropolitan - Flood Control Integrated Information System (일본 도쿄)[11]

도쿄에서 관찰되는 강수량과 수위 정보 뿐만 아니라 경고, 경보 및 특보를 실시간으로 제공

이외에도 국내에서는 3D Web-GIS 기반 홍수 시뮬레이션을 수행하고 ·실시간 수문 모니터링을 제공하는 K-water 디지털 트윈 물관리 플랫폼, 하천범람지도와 도시침수지도를 포함하여 강우빈도 별 침수 시뮬레이션 정보를 제공하는 홍수위험지도 정보시스템(floodmap.go.kr), 실시간 수문데이터를 제공하는 국가수자원관리종합정보시스템(wamis.go.kr) 등 국가 차원의 물관리 및 홍수 정보 제공 플랫폼을 구축하여 관련 정보를 제공하고 있으며 2023 년부터 AI 홍수체계를 구축하여 전국으로 확대할 예정이다[12].

III. 결론

도시는 하수관거, 펌프장, 저류조, 도로배수 등 인공 인프라에 의존하는 복잡한 유출체계를 가지고 있으며, 이러한 구조적 특성으로 인해 동일한 강우 조건에서도 피해가 크게 달라진다. 각국 도시에서는 이에 대응하기 위해 물리적 인프라를 구축하고 최근에는 단순한 홍수 모니터링 뿐만 아니라, 데이터 기반 예측모델, 인공지능(AI), IoT 센서 네트워크, 디지털 트윈(Digital Twin) 등 첨단 기술을 접목한 지능형 홍수 예측·대응 시스템을 개발하여 적용하려는 노력들이 계속되고 있다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 한국전자통신연구원 연구운영비지원사업(기본사업) 도시 극한호우 대응 플랫폼 기술개발과제(25ZR1300)의 논문입니다.

참 고 문 헌

- [1] <https://www.yna.co.kr/view/MYH20250814006400038>.
- [2] 이병주, 허재영, 김지환. (2024). 실시간 도시침수예보를 위한 현안 분석. 물과 미래: 한국수자원학회지, 57(6), 8-15.
- [3] <https://v.daum.net/v/20240529134613080>
- [4] https://m.dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=202405010853547790520, 2024.05
- [5] https://m.blog.naver.com/mcst_pr/223498960171, 정책주간지 K-공감 공식블로그, 2024.07
- [6] Marina Barrage | PUB, Singapore's National Water Agency, <https://www.pub.gov.sg/public/places-of-interest/marina-barrage>
- [7] <https://www.envtimes.co.kr/news/articleView.html?idxno=18828>
- [8] <https://safecity.busan.go.kr>
- [9] 강호선, 이한승, 문혜진, 조재웅. (2023). 도시침수 상황관리 지원을 위한 RAINSYS 개발. 한국산학기술학회 논문지, 24(11), 461-469. 10.5762/KAIS.2023.24.11.461
- [10] <https://www.floodnet.nyc/>
- [11] 도쿄도 홍수통제 통합정보 시스템 https://www.kasen-suibo.metro.tokyo.lg.jp/im/uryosui/tsim0102g_en.html
- [12] <https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148939590>