

도시침수 상황관리 지원을 위한 RAINSYS 개발

강호선, 이한승, 문혜진, 조재웅*
국립재난안전연구원

Development of RAINSYS(Real-time Alert for INundation SYStem) to Support Inundation Situation Management

Hoseon Kang, Hanseung Lee, Hyejin Moon, Jaewoong Cho*
National Disaster Management Research Institute

요약 최근 기후변화의 영향으로 집중호우의 발생빈도와 강우강도가 증가함에 따라 도시침수 발생 가능성도 증가하고 있어 도시침수 대응을 위한 상황관리 지원 시스템의 요구가 증가하고 있다. 따라서 본 연구에서는 실시간 강우 현황분석 및 모니터링, 침수 위험알람, 침수예상도 제공 등 도시침수 상황관리 의사결정 지원을 위한 도시침수 모니터링 시스템(Real-time Alert for INundation SYStem, RAINSYS)을 개발하였다. 본 시스템에서는 재난관리자가 신속하게 침수 위험지역을 파악할 수 있도록 모든 정보는 GIS 기반으로 제공된다. 시범운영을 통해 '21~'23년까지 침수발생 사례 58건에 대해 검토한 결과, 주의단계는 100%(58건), 경계는 94.8%(55건), 위험 91.4%(53건)가 침수 발생 전 알람을 한 것으로 분석되었다. 호우·태풍 발생 시 본 시스템을 활용한다면 재난관리자가 신속하고 효율적으로 대응할 수 있어, 침수 재해로 인한 인명피해 저감에 기여할 수 있을 것이다.

Abstract The possibility of urban inundation is increasing as the frequency and intensity of localized torrential rainfall increases due to recent climate change. The need for a situation management system for urban inundation response is increasing. Therefore, this study developed a real-time alert for inundation system (RAINSYS) to support decision-making for urban inundation situation management, including real-time rainfall analysis and monitoring, inundation warnings, and inundation prediction maps. This system provides all information based on GIS so that disaster managers can quickly identify inundation risk areas. A test operation was conducted from 2021-2023, and 58 cases were reviewed. The results showed that Beware 100% (58 cases), Caution 94.8% (55 cases), and Danger 94.4% (53 cases) were alarmed before inundation occurred. If disaster managers use RAINSYS when managing heavy rain or typhoon situations, they can respond quickly and efficiently and contribute to reducing human and property damage caused by inundation disasters.

Keywords : Urban Inundation, Heavy Rain, Inundation Warning, System, Test Operation

1. 서론

2022년 전세계에서 발생한 자연재해는 총 387건이며, 이 중 약 73%인 287건이 홍수와 태풍이었다. 이는

과거 20년(2002~2021) 평균인 272건보다 약 5% 증가한 수치이다. 인명피해는 전체 30,704명 중 7,954명(26%)으로 극한기온에 이어 두 번째로 많은 것으로 나타났다[1]. 우리나라에서는 기후변화의 영향으로 강우량과

본 논문은 행정안전부 국립재난안전연구원 연구과제(NDMI-2023-주요-01-03)로 수행되었음.

*Corresponding Author : Jaewoong Cho(National Disaster Management Research Institute)
email: jwcho80@korea.kr

Received September 18, 2023

Revised October 18, 2023

Accepted November 3, 2023

Published November 30, 2023

강우강도가 증가하고 강우일수는 감소하는 현상이 나타나고 있다. 최근 30년 연평균강우량이 그 전 30년과 비교하여 135.4mm 증가하였지만, 강우일수는 21.2일 감소하고, 100mm 이상의 강우일수는 증가하는 것으로 나타났다. 또한 2022년에는 연평균 누적강우량이 1,150.4mm로 평년 대비 86.7%에 불과하였으나, 장마 기간 중 시간당 100mm 이상의 강한 강우가 13회로 평년 4.3회 보다 크게 증가하는 등[2] 극한강우의 발생빈도가 증가하는 것을 알 수 있다. 이와 같이 높은 강도의 강우 발생 빈도가 증가하면서 홍수피해 저감을 위한 복구·개선 사업과 정책에도 불구하고 침수로 인한 피해는 꾸준히 발생하고 있다. 특히 2022년 8월 중부지방 집중호우(8.8.~8.17.)로 약 20여명이 사망하거나 실종되었으며, 49,247건의 재산피해가 발생하였다. 서울 동작구, 강남구, 서초구에서는 '22년 8월 8~9일 사이에 시간당 100mm 이상의 강우가 발생하였으며, 서울 내 한강 남쪽 대부분의 관측소에서 100년 빈도 이상의 강우를 기록하였다. 이와 같은 도심지의 대규모 침수피해로 인해 지하 대규모 저류지, 차수벽 설치, 우수관로 개선 등 구조적 대책 중심의 사업이 제시되고 있으나 행정적 절차, 공사 기간 등 많은 시간과 인력이 필요하며, 극한강우에 대한 반영이 어려운 점 등 한계점이 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 신속하게 위험정보를 감지하고 전파하는 방법, 극한 강우에 대비하기 위한 수치모델링 기반의 침수예측, IoT 기반의 센서를 활용한 지표 침수 및 우수관 모니터링 등 재난을 사전에 대비하고 대응할 수 있는 기술이 필요하다.

환경부에서는 141개 행정동(2022.12월 기준)을 대상으로 극한강우 조건에서 빗물펌프장과 빗물 저류조 등 우수배제시설의 용량 초과 및 고장시 발생 가능한 가상의 침수범위, 침수심 정보를 제공하는 도시침수 지도(<https://floodmap.go.kr/>)를 제공[3]하고 있으며, 한국국토정보공사에서는 매년 태풍, 호우, 해일 등 자연재해로 인한 침수피해가 발생한 지역에 대하여 침수흔적조사 및 측량을 실시하여 침수구역에 대한 침수위, 침수심, 침수시간 등을 제공하고 있다. 또한 부산시에서는 침수예상도, 하천수위, 침수감시지역의 침수심, 침수 감시 CCTV 영상, 대피경로 및 장소, 침수재해와 관련된 정보를 제공하는 '도시침수 통합정보시스템'을 구축하여 2022년부터 시범운영하고 있다[4]. 이와 같이 실시간 현황이 아닌 침수상황에서 필요한 정보만 제공하는 경우 예방 또는 대비 단계에서는 활용될 수 있지만, 빠르게 발생하는 도시침수의 특성상 대응 단계에서 활용은 어려울

것으로 판단된다. 또한 호우특보의 경우 전국 동일한 기준을 사용하고 있어 지역적 특성을 반영하지 못하고 있으며, 국지 예보 구역 단위로 발령되고 있어 한정된 인력으로 넓은 지역을 관리하는데 어려움이 발생하고 있다.

2023년 서울시에서는 '침수 예·경보제 발령 및 운영방안에 관한 계획'을 수립하였으나, 과거 침수가 발생하지 않은 최대 강우량에 안전율(80%)을 고려한 시간당 강우량 55mm 또는 침수 대응 골든타임 확보를 위한 15분 20mm 초과시, 도로 침수심 15cm 초과, 자치구별 CCTV, 현장 확인을 통한 경보 발령 기준을 설정하였다. 그러나 지역별 특성을 반영하지 않은 동일한 기준을 적용하고 있으며, 별도의 시스템이 구축되어 있지 않고 문자, SNS 등을 통해 예보를 발령하도록 하고 있다.

본 연구에서는 실시간 강우 현황 분석 및 모니터링, 침수 위험알람, 침수예상도 및 침수정보 제공 등 도시침수 상황관리를 위한 정보 제공, 의사결정 지원을 통해 호우·태풍 발생시 재난관리자가 침수 재난에 신속하고 효율적으로 대응할 수 있는 상황관리 시스템을 개발하고자 하였다.

2. 도시침수 모니터링 시스템 개발

도시침수 모니터링 시스템(RAINSYS)은 태풍·집중호우 시 재난관리 담당자에게 도시침수 대응을 위한 정보를 제공하여 신속하고 정확한 상황관리 의사결정을 할 수 있도록 지원하는 시스템이다.

전국 약 630여 개의 ASOS, AWS 기상관측소에서 계속되는 1분 단위 강우 데이터를 수집하여, 15분, 30분, 1시간, 3시간, 1일 최대 누적강우량을 실시간으로 제공하고, 전국 행정동별로 설정된 단계별(주의, 경계, 위험) 침수 위험기준을 통해 위험알람이 발령되도록 하였다. 또한 약 75개 시범유역에 대한 침수예상도를 제공하고 이를 바탕으로 침수 위험시설 정보, 침수심, 침수면적, 주소 등 상세정보를 제공하고 있다. 시스템 내에서 수집·분석·표출되는 모든 정보는 데이터(Data)와 지형공간정보(GIS) 형태로 지도상에 맵핑(Mapping)하여 제공되어 사용자가 빠르고 쉽게 정보를 이해할 수 있도록 하였다.

이와 같은 정보는 재난관리 단계인 예방, 대비, 대응, 복구 4단계 중 대응에 활용할 수 있으며, 침수예상도나 위험시설 정보, 과거 위험알림 현황 조회를 통해 사전에 예방·대비하는 단계에서도 활용될 수 있다.

2.1 시스템 설계

태풍·집중호우 시 재난상황실뿐만 아니라 담당자가 업무 및 개인 PC, 스마트폰 등 인터넷 접속이 가능한 환경이면 공간과 시간에 제약받지 않고 활용할 수 있도록 웹(Web) 기반의 시스템으로 개발하였다. 시스템의 설계 구조와 기능별로 필요한 데이터 및 표출정보를 Fig. 1과 Table 1에 제시하였다.

기상관측소의 실시간 관측 및 예측 강우 데이터를 수집하고 관측소와 행정동별로 강우현황을 분석하여 제공한다. 또한 실시간으로 강우 빈도를 분석할 수 있는 모듈을 개발하여 시스템에 적용하였다. 다음으로 행정동별 한계강우량을 이용하여 대피시간을 고려한 주의, 경계, 위험 3단계의 침수 위험기준을 설정하였으며, 위험기준 이상의 강우가 발생하면 알람이 발령되도록 하였다. 마지막으로 시나리오별 침수예상도를 강우에 따라 지도상에 표출되도록 하였으며, 침수지역의 침수 및 주요 시설물

에 대한 상세정보가 표출되도록 하였다.

2.2 메인화면 구성

메인화면은 사용자의 가시성과 직관성을 고려하여 Fig. 2와 같이 설계하였다. 메뉴는 침수 위험지역, 강우 정보, 침수예상도 조회, 강우빈도 분석, 수치지형도 등 5개의 메뉴로 구성하여 사용자가 빠르고 쉽게 정보를 확인할 수 있도록 하였다. 또한 메뉴 이동시에도 고정적으로 표출하여 신속한 메뉴간 이동이 가능하고, 사용자가 보고 있는 화면이 무엇인지 쉽게 확인할 수 있도록 하였다. 데이터 테이블(Data Table)에서는 침수 위험지역, 강우정보 등 데이터가 표출되며, 지도(GIS Display)에서는 데이터와 연계하여 GIS 정보가 지도상에 표출되도록 하였다. 상황판(Situation Board)에서는 현재 상황을 종합적으로 판단할 수 있는 정보가 표출되도록 하였다.

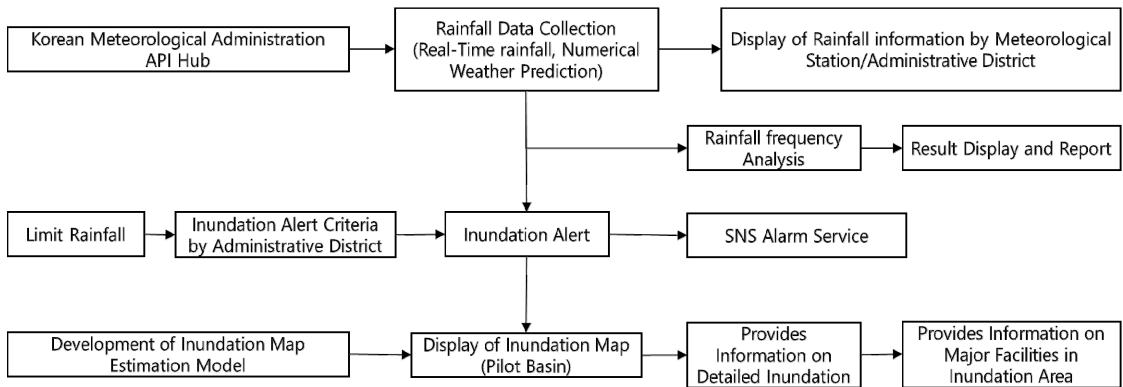


Fig. 1. Basic algorithm to Real-time Alert for Inundation System

Table 1. Collected data and display information by main function

Main function	Collected data	Display information
Rainfall data collection	Rainfall observation station coordinates, 1min real-time rainfall data(630 station), Local data assimilation and prediction system(1~23hr)	Rainfall observation station(GIS), Rainfall information by station(Data, Graph), Precipitation rainfall(image, Data by Administrative district)
Rainfall frequency analysis	ASOS 69 Station rainfall quantile Maximum rainfall by duration(1,3,6,9,12,24hr)	Rainfall frequency(1,3,6,9,12,24hr)
Inundation alert	Limit rainfall, Inundation alert criteria by administrative district	Inundation alert administrative district, SNS alarm service
GIS module	administrative district layer, Open street map, Vworld map(2D, satellite)	Base map
Inundation prediction map and facility information	Inundation prediction map, National digital topographic map(NGI→shp)	Detailed information on inundation risk area (Address, Load name, Main building, etc.)

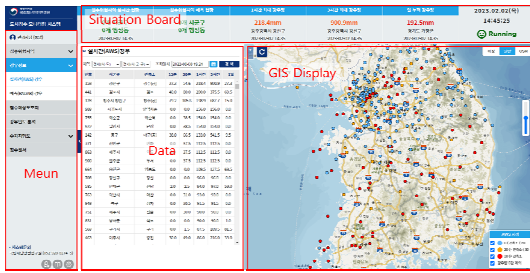


Fig. 2. Real-time alert for inundation system main display

시스템이 재난 상황관리에 이용되는 것을 고려하여 웹 페이지의 이동이나 새로운 창이 생성되는 것을 최소화하여, 지점별 강우량, 침수 위험지역 등 상세정보만 새로운 창에서 확인할 수 있도록 구성하였다.

2.3 GIS 표출 모듈

시스템 내부에서 사용되는 정보는 강우데이터, 행정동별 침수 위험지역 등 많은 정보를 제공하기 때문에 긴급한 재난 상황에 사용하기 위해서는 쉽고 신속하게 파악할 수 있도록 정보를 제공하여야 한다. 따라서 본 시스템에서는 표출되는 모든 정보는 GIS 기반으로 표출될 수 있도록 하였다. 배경지도(Base map)은 국토교통부 공간정보 오픈 플랫폼에서 제공되는 브이월드 지도와 OSM (Open Street Map)에 표출되도록 연계하였다.

GIS 데이터는 벡터(Vector) 형태인 점(Point), 선(line), 면(Polygon)과 격자(Raster) 형태가 있다. 본 시스템에서는 강우 관측소의 실시간 관측 데이터는 점 형태로 제공되고, 예측강우와 침수예상도의 경우 격자, 이 외에 침수 위험알람, 행정동, 건물 레이어 등은 선과 면 형태로 표출된다. 따라서 다양한 형태의 GIS 데이터를 표출할 수 있도록 Fig. 3과 같이 GIS 모듈을 구축하였다.

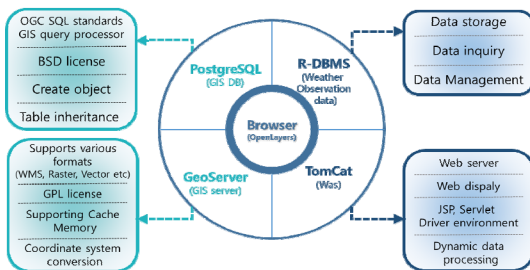


Fig. 3. GIS module diagram

GeoServer, PostgreSQL/PostGIS DB 등 GIS 소프트웨어를 이용하여 웹(Web) 기반의 데이터 베이스(Data Base, DB) 를 구축하고, 서버 접근을 위해 OpenLayers API와 지도 표출을 위해 표준 규약인 WMS(Web Map Service)와 WFS(Web Feature Service)를 이용하였다. 침수예상도 및 위험지역 정보 자동 표출을 위한 절차는 Fig. 4와 같다.

시스템 내에서 자동으로 이벤트가 발생하거나 사용자가 요청하는 경우 OpenLayers를 통해 GIS Server로 전달되고, 구축된 GIS Data base에서 자료를 조회하여 제공하며, 다시 OpenLayers를 통해 시스템에 표출하는 기능을 수행한다.

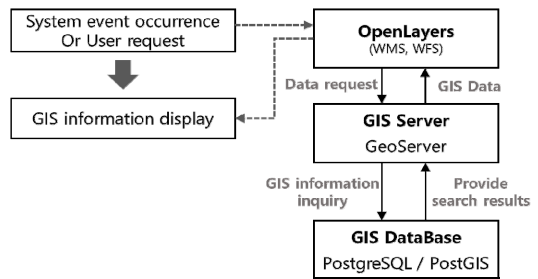


Fig. 4. GIS data display process

2.4 주요 기능

2.4.1 강우 정보 표출

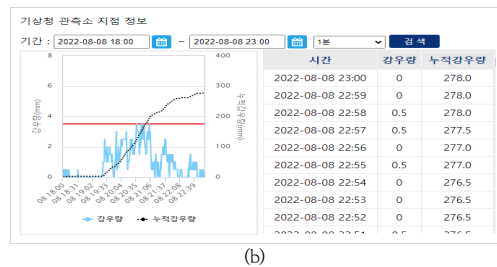
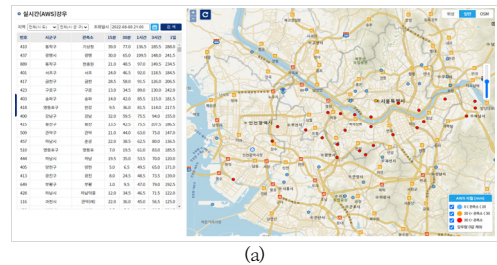


Fig. 5. Rainfall status and detailed information
(a) rainfall status (b) Detailed rainfall information

전국 약 630개 관측소에서 계속되는 1분 단위 관측 데이터를 기상청 API 허브를 통해 수집·분석하여 15분, 30분, 1시간, 3시간, 1일 지속시간별 누적강우량을 데이터 테이블을 통해 확인할 수 있도록 하였다.

지도에서는 강우강도 크기에 따른 범례를 설정하여 강우량이 많은 지역을 신속하게 파악할 수 있도록 하였으며, 관측소별로 상세한 강우정보를 그래프와 표로 확인할 수 있도록 하였다. Fig. 5는 '22년 8월 8일 중부지방 호우시 강우현황과 상세정보를 조회한 결과이다.

예측 강우의 경우 기상청에서 제공하는 수치모델 중 국지예보모델(LDAPS, Local Data Assimilation and Prediction System)을 이용하여 현재로부터 36시간내 발생하는 강우를 파악할 수 있도록 지도와 테이블로 제시하고 있다. 국지예보모델은 1.5km 격자 형태로 구성되어 있으며, 6시간을 주기로 1일 4회 제공한다. 예측 시간이 길어질수록 정확도가 낮은 문제점을 가지고 있어 시스템에서는 1시간, 2시간, 3시간, 24시간 강우량을 데이터 테이블에서 확인할 수 있도록 하였으며, 1~36시간 까지 강우를 이미지 형태로 지도에 표출되도록 하였다 (Fig. 6).



Fig. 6. Rainfall prediction display example (23.6.15. 01:00)

2.4.2 침수 위험지역 알람

침수 발생 전 위험알람을 위해서는 침수 발생기준과 대피시간을 확보할 수 있는 발령 기준이 필요하다. 현재 호우 재난 상황관리를 위해 기상청에서 강우량에 따른 호우특보를 발령하고 있으나, 전국 공통 기준을 가지고 있어 지역의 환경이나 유역특성을 반영하지 못하고 있으며, 특별발령 범위가 시군단위로 이루어지고 있어 좁은 지역에서 단기간에 발생하는 도시침수에 대응하기에는 한계가 있다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해 국립재난안전연구원에서는 '딤러닝 기반 도시침수 예측 및 분석 기술 개발 ('18~'22)' 연구를 통해 행정동별 한계강우량을 산정하고, 대피시간을 고려하기 위해 Table 2와 같이 한계강우량에 일정 비율을 적용하여 주의, 경계, 위험 3단계의 위험기준을 설정하였다. Table 2는 최소 대피시간 주의 60분, 경계 30분, 위험 15분 이상을 확보하기 위한 비율이다.

Table 2. Estimate method of warning criteria

Warning criteria	Ratio of Inundation limit rainfall (%)		
	30min	1hr	3hr
Beware	60	60	70
Caution	70	70	80
Danger	80	80	90

여기서, 한계강우량은 침수가 발생할 수 있는 지속시간별 누적강우량으로 과거 침수 피해이력과 강우데이터를 이용한 피해이력기반의 한계강우량 산정 방법과 침수 피해이력이 없거나 부족하여 한계강우량을 산정할 수 없는 지역에 대해서는 유역특성을 활용한 딤러닝 모델을 개발하여 산정하는 방법이 있다[5].

Table 3과 같이 전국 3,501개 행정동 중 도서지역을 제외한 3,354개 행정동에 대한 침수 위험기준을 설정하여 본 시스템에 적용하였으며, 수집된 실시간 관측 강우량과

Table 3. Criteria of inundation warning

District	Warning criteria	Inundation limit rainfall by duration (mm)		
		30min	1hr	3hr
Seoul Gwanakgu Sillimdong	Beware	22.8	31.0	55.9
	Caution	27.4	37.1	65.3
	Danger	32.0	43.3	74.6
Busan Donggu Choryang1dong	Beware	27.1	31.5	67.9
	Caution	26.0	37.7	79.3
	Danger	30.4	44.0	90.6
Daejeon Seogu Jeongnimdong	Beware	23.4	30.8	57.4
	Caution	28.1	37.0	67.0
	Danger	32.7	43.2	76.6
Suwon Gwonseongu Gwonseon1dong	Beware	24.1	35.4	77.9
	Caution	29.0	42.5	90.9
	Danger	33.8	49.6	103.8
Pohang Namgu Jecheoldong	Beware	25.9	38.8	65.4
	Caution	31.0	46.6	76.3
	Danger	36.2	54.4	87.2

비교하여 침수 위험기준 이상의 강우량이 발생하는 경우 위험알람이 발령되도록 하였다. 이때 강우자료는 행정동 별로 가장 인접한 관측소의 자료를 사용하도록 하였다.

2.4.3 침수예상도에 따른 상세정보 표출

침수 위험알람은 행정동별로 발령되므로 재난관리자의 경험이나 과거 침수피해 이력 등을 바탕으로 상세위치를 파악하여 대응할 수 있으나, 이러한 경험이나 데이터가 부족한 경우 행정동 내 어디가 위험한지 파악하기 어려울 수 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 Fig. 7과 같이 침수예상도를 실시간으로 표출하고 침수심, 침수면적 등 상세정보와 도로명 주소, 건물명 등 위치정보를 자동으로 표출하는 기능을 개발하였다.

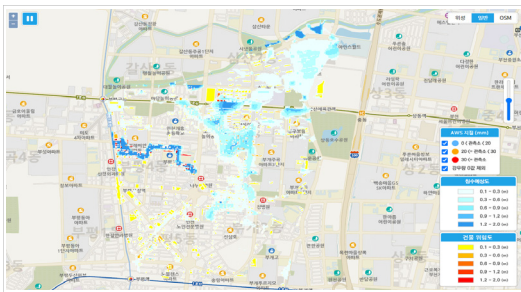


Fig. 7. Inundation prediction map and facility information

'18~'22년까지 시범유역을 대상으로 작성된 75개 유역의 침수예상도를 시스템에 적용하여, 강우 시나리오에 따라 자동으로 표출되도록 하였다. 또한 위치정보 제공을 위해 전국의 수치지형도(National Geographic Institute, NGI)를 수집하였으며, 교통시설, 건물, 수계(하천), 지형, 행정 경계 등 필요한 정보를 Shape 형태로 변환하여 약 16만개의 레이어로 구성된 DB로 구축하였다.

2.4.4 강우빈도 분석

강우의 발생빈도는 일정한 기간에 임의의 크기 호우가 발생할 횟수 또는 어떤 크기의 호우가 발생하는데 걸리는 시간을 의미[6]하는 것으로 일반적인 강우량의 크기를 파악할 수 있다. 또한 도시지역의 배수 시설 설계시 규모를 결정하는 기준으로 우수관의 경우 10~30년, 빗물펌프장은 30년 빈도로 설계하도록 제시[7]하고 있어, 침수 발생 가능 여부를 판단할 수 있는 기준이 될 수 있다. 이와 같은 강우빈도를 실시간으로 분석하기 위한 모듈을 개발하여 시스템에 적용하였다. 모듈 분석 절차는 Fig. 8

과 같이 기상청의 API로 수집되는 1분 단위 강우자료를 이용하여, 사용자가 지정한 조회기간 내 강우관측소별 지속시간 1, 3, 6, 9, 12, 24시간 최대 강우량을 산정한다. 확률강우량도는 30년 이상의 관측자료가 있는 69개 ASOS 기상관측소의 확률강우량도만 이용하였으며, 확률강우량도가 없는 지점의 경우 가장 가까운 관측소의 확률강우량도를 사용하도록 하였다. 확률강우량도로부터 강우관측소 지점별로 지속시간 최대강우량에 대한 강우빈도를 찾을 수 있도록 설계하였다.

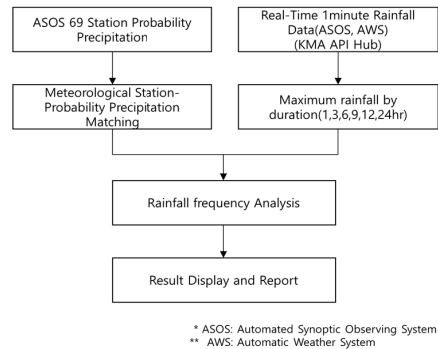


Fig. 8. Rainfall frequency analysis module

강우 관측 지점별로 총 누적강우량과 지속시간별 강우에 따른 빈도분석 결과는 누적강우량이 높은 순서로 표출되도록 하였으며, 지속시간별 강우량에 따라 순위를 변경하여 확인할 수 있도록 하였다. 결과는 신속하게 확인할 수 있도록 Table 4와 같이 데이터 테이블에 표출되도록 하였으며, 필요에 따라 보고서 또는 데이터 파일 형식으로 제공될 수 있도록 하였다.

2.4.5 상황판 정보 표출 및 자동 최신화

재난 상황관리에 활용하기 위해서는 재난과 관련된 중요한 정보를 신속하게 파악하여 대응할 수 있도록 하여야 한다. 따라서 정보의 활용성과 가시성을 고려하여 메인화면 상단에 현재 상황을 종합적으로 판단할 수 있도록 상황판 기능을 적용하였다.

상황판에서는 Table 5와 같이 침수 위험지역 통계 정보, 1시간, 3시간, 1일 최대 누적 강우량과 해당 지역 정보를 확인할 수 있도록 하였다. 또한 현재시간과 기상자료의 실시간 수신 상태를 표출하여 시스템의 정상 작동 여부를 확인할 수 있도록 하였다. 표출되는 정보는 위험알림 지역, 관측 강우 데이터가 변경될 때마다 자동으로 최신화되도록 하였다.

Table 4. Rainfall frequency analysis result

No.	District	Meteorological station	Amount of rainfall	Rainfall frequency analysis result by duration(mm)					
				1hr	3hr	6hr	9hr	12hr	24hr
1	Iksan	Hamra	406.5	59.0 (11yr)	124.0 (26yr)	185.0 (56yr)	255.5 (242yr)	305.0 (500yr)	381.0 (500yr)
2	Gunsan	Gunsan	400.8	54.1	116.5 (18yr)	180.6 (48yr)	250.8 (203yr)	310.3 (500yr)	370.2 (500yr)
3	Nonsan	Yeonmu	326.0	48.5	100.0	157.5 (11yr)	214.5 (28yr)	245.5 (38yr)	313.0 (68yr)
4	Wanju	Wanju	284.6	41.7	87.6	141.1 (12yr)	194.6 (28yr)	227.7 (40yr)	265.8 (32yr)

Table 5. Situation board information

Information		Content
Current situation of inundation warning areas	Real-time rainfall	Statistics of inundation warning by district
	Forecast rainfall	
1hr Maximum rainfall		Maximum rainfall by duration (1hr, 3hr), Daily rainfall and district
3hr Maximum rainfall		
Daily rainfall		
Time and system state		Current time, Rainfall data collection and system error

3. 시범운영

도시침수 모니터링 시스템은 호우 상황관리 시 침수 발생 위험지역을 사전에 알림으로써 대응·대피 시간을 확보하기 위한 것으로 주요 침수피해 발생 사례를 대상으로 충분한 대피시간을 확보하였는지 검토하였다.

'21년 8월 23~25일 부산지역에서는 총 누적강우량 260.8mm, 1시간 최대 83.5mm의 강우를 기록하면서 연제구, 남구, 수영구, 사상구 등 다수 지역에서 침수가 발생하였다. 거제 2동, 사직 1동, 대연1동의 침수지역 CCTV 영상을 분석한 결과 거제 2동, 사직 1동에서는 24일 00시 20분, 30분, 대연1동에서는 25일 17시 45분에 침수가 발생하였다. 거제2동과 사직1동에서는 주의가 각각 34분, 44분, 경계가 24분, 34분, 위험이 19분, 29분으로 충분한 대피시간을 확보하는 것으로 분석되었으나, 대연1동의 경우 주의 10분, 경계 6분, 위험 3분으로 침수발생 전 알람이 있었지만 대피시간은 다소 부족한 것으로 분석되었다(Table 6).

Table 6. Result of warning criteria application (Busan)

Warning criteria	Time (Evacuation time)		
	Geoje 2	Sajik 1	Daeyeon 1
Beware	23:46 (34min ago)	23:46 (44min ago)	17:35 (10min ago)
Caution	23:56 (24min ago)	23:56 (34min ago)	17:39 (6min ago)
Danger	00:01 (19min ago)	00:01 (29min ago)	17:42 (3min ago)
Inundation	00:20	00:30	17:45

'22년 8월 8~9일 서울지역에서는 총 누적강우량 515.0mm, 1시간 최대 141.5mm의 강우를 기록하면서 서울 강남구, 관악구 동작구 일대에서 침수로 인한 많은 피해가 발생하였다. 침수자료가 확보된 행정동에 대해서 대피시간을 검토하였으며, 대표적인 3개 행정동에 대한 결과를 Table 7에 제시하였다. 삼성2동, 서원동, 대방동을 대상으로 검토한 결과 20시 13분~20분 사이에 침수가 발생하였으며, 주의단계에서 최소 128분, 경계 31분, 위험 23분의 대피시간이 확보되는 것으로 분석되었다.

Table 7. Result of warning criteria application (Seoul)

Warning criteria	Time (Evacuation time)		
	Samseong 2	Seowon	Daebang
Beware	18:08 (132min ago)	17:54 (139min ago)	18:08 (128min ago)
Caution	19:41 (39min ago)	19:42 (31min ago)	19:42 (34min ago)
Danger	19:49 (31min ago)	19:50 (23min ago)	19:49 (27min ago)
Inundation	20:20	20:13	20:16

위와 동일한 방법으로 '21~'23년까지 침수발생 사례 58건에 대해 검토한 결과, 주의단계는 100%(58건), 경계는 94.8%(55건), 위험 91.4%(53건)가 침수발생 전 알

람을 하였으며, 경계 3건, 위험 5건은 침수발생 시간 이후에 발생한 것으로 분석되었다(Table 8).

Table 8. Test operation results

Year	Application (Cases)	Number of advance warning		
		Beware	Caution	Danger
2021	24	24	23	21
2022	27	27	26	26
2023	7	7	6	6
Total	58	58 (100%)	55 (94.8%)	53 (91.4%)

이와 같은 원인으로는 위험알람과 강우 관측소의 공간적 분포의 차이 때문인 것으로 판단된다. 위험알람을 위한 기준은 행정동 단위로 설정되어 있는 반면에 강우량은 행정동별로 관측하고 있지 않아, 국지성 집중호우의 경우 실제 침수가 발생한 위치에서 강우량과 관측소에서 계속된 강우량의 차이로 인해 늦은 알람이 발생하는 것으로 분석되었다. 또한 도시침수는 우수관 또는 빗물받이 막힘, 공사로 인한 토사유출 등 예상하지 못한 원인에 의해 배수능력을 초과하지 않은 강우에 침수가 발생한 경우에도 사전에 알람을 하지 못 할 수 있다. '21년 8월 25일 대연1동의 사례와 같이 일부 사례에서 위험알람 후 3분 만에 침수가 시작되는 등 대피시간이 다소 부족한 사례도 발생하였다. 이는 위험알람 발령 기준이 침수가 시작되는 한계강우량의 50~90%로 설정되어 있어, 지속시간이 짧고 강도가 높은 강우일수록 대피시간이 짧아지기 때문이다.

본 시스템은 재난 상황관리 지원을 위한 시스템으로 침수 발생 전에 알람을 하지 못하는 사례는 없어야 한다. 이를 개선하기 위해 침수 위험기준을 설정하는 기준이 되는 한계강우량은 침수 센서와 침수지역 CCTV 영상을 통해 분석한 실제 침수 발생 강우량과 비교하여 개선하였다[8,9]. 향후에도 침수 발생지역을 대상으로 지속적으로 검증하여 위험기준을 개선할 계획이다. 또한 행정동과 기상관측소의 공간적 분포에 대한 문제점을 해결하기 위해 행정동별로 강우 영향을 많이 주는 관측소를 분류하여 적용하는 방안, 예측강우 또는 예보자료를 활용한 위험알람 등 충분한 대피시간을 확보하기 위한 추가적인 연구를 통해 시스템에 반영할 계획이다.

4. 결론

'도시침수 모니터링 시스템(RAINSYS)'은 집중호우로

인한 재난 상황관리 시 빠르고 정확한 정보를 제공하여 침수상황에서 재난관리 담당자가 신속하고 효과적으로 대응할 수 있도록 의사결정을 지원하는 시스템이다. 주요기능으로는 실시간 강우 및 예측강우 모니터링, 침수 위험 사전 알림, 강우에 따른 침수예상도 표출 및 조회, 실시간 강우 빈도분석, 침수 상세위치, 침수심, 침수면적 등 정보 제공, 침수 위험 시설물 조회 등으로 구성되어 있으며, 모든 정보는 GIS 모듈 개발을 통해 데이터와 지도상에 표출하여 사용자가 신속하게 정보를 확인할 수 있도록 하였다.

행정동 단위로 주의, 경계, 위험 3단계의 위험알람 기준이 설정되어 있어 가장 가까운 강우 관측소에서 위험알람 기준 이상의 강우가 발생하는 경우 해당 행정동에 위험알람이 발령되고, 재난 상황관리 담당자가 신속하게 확인할 수 있도록 문자(SMS)를 통해 알려 주도록 하였다. 그리고 실시간 및 예측 강우 현황, 침수예상도 및 상세정보 조회를 통해 신속하고 효율적으로 대응할 수 있도록 하였다.

시스템의 현장 적용성을 검토하기 위해 2021~2023년까지 시범운영 하였으며, 침수 발생지역의 센서 계속 자료 또는 CCTV 영상을 수집·분석하여 침수시간을 확인하고, 침수전 대피시간 확보 여부를 검토하였다. 그 결과 대부분의 사례에서 침수 발생전 알람을 주는 것으로 나타나 실무에서도 충분히 활용 가능할 것으로 판단된다. 다만 일부 사례에서 대피시간이 부족한 사례가 발생하였는데 이를 개선하기 위해 향후 예측강우의 활용, 기상관측소의 공간적 분포에 대한 연구 등을 통해 지속적으로 개선할 계획이다.

또한 행정안전부, 서울상생센터, 울산, 부산 등 일부 지자체에서 재난관리 담당자를 대상으로 시범운영하여 실제 사용자가 필요로 하는 기능을 추가하고 개선하여 실무에서 활용성을 향상하였으며, 주기적인 최신화를 위해 자료수집 및 분석 프로세스를 수립하고 자동화 모듈을 통해 분석할 수 있도록 하여 빠르게 변화하는 정보에 신속하게 대응할 수 있도록 하였다. 또한 사용자를 위한 매뉴얼은 문서와 영상으로 제작하여 제공하고 있으며, 교육 등을 통해 정부 부처, 지자체, 공공기관 등에서 재난관리 담당자가 활용할 수 있도록 지속적으로 지원하고 있다.

본 시스템을 집중호우, 태풍 등으로 인한 침수재난 상황관리에 활용한다면 효율적이면서도 신속하고 정확한 의사결정을 함으로써 침수로 인한 재산 및 인명피해 저감에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Centre for Research on the Epidemiology of Disaster (CRED). 2022 Disasters in numbers[Internet]. Centre for Research on the Epidemiology of Disaster(CRED) c2023[cited 2023 April]. Available From: <https://www.emdat.be/> (accessed Aug. 31, 2023)
- [2] Korea Meteorological Administration. 2022 Climate change report[cited 2023 Mar 30], Research Report, Involved Ministries, Korea, pp.130.
- [3] Ministry of Environment. Flood Risk Map Management System[Internet]. Available From: <https://www.floodmap.go.kr/> (accessed Aug. 31, 2023)
- [4] Busan Metropolitan City. Urban Flood Integrated Information System[Internet]. Available From: <https://safecity.busan.go.kr/> (accessed Aug. 31, 2023)
- [5] National Disaster Management Research Institute. Establishment of Urban Flood Prediction Technology Operation Strategy, Research Report, National Disaster Management Research Institute, Korea, pp. 22-35.
- [6] J. S. Lee, hydrology, p.727, Goomibook, 2015, pp. 126 DOI: <https://doi.org/10.978.898225/2914>
- [7] Ministry of Environment. Sewerage Korea design standards, Technical Report, Korea construction standards center, Korea, pp.7-8.
- [8] National Disaster Management Research Institute. Improvement and Application of Urban Flood Alert Criteria Estimation Model, Research Report, National Disaster Management Research Institute, Korea, pp. 81-87.
- [9] National Disaster Management Research Institute. Establishment of Urban Flood Prediction Technology Operation Strategy, Research Report, National Disaster Management Research Institute, Korea, pp. 41-46.

강 호 선(Hoseon Kang)

[정회원]



- 2012년 2월 : 울산대학교 건설환경공학과 (건설환경공학 석사)
- 2016년 2월 : 울산대학교 건설환경공학과 (건설환경공학 박사)
- 2015년 12월 ~ 현재 : 국립재난안전연구원 책임연구원

<관심분야>

수자원, 자연재난, 방재, 도시침수

이 한 승(Hanseung Lee)

[정회원]



- 2007년 2월 : 동아대학교 토목공학과 (토목공학 석사)
- 2013년 2월 : 동아대학교 토목공학과 (토목공학 박사)
- 2014년 3월 ~ 2018년 3월 : 동의대학교 토목공학과 교육전담교수
- 2018년 4월 ~ 현재 : 국립재난안전연구원 책임연구원

<관심분야>

수공학, IoT, 인공지능, 도시침수

문 혜 진(Hyejin Moon)

[정회원]



- 2018년 2월 : 충남대학교 토목공학과 (수공 및 환경 공학 석사)
- 2018년 3월 ~ 8월 : 충남대학교 국제수자원연구소 선임연구원
- 2019년 4월 ~ 현재 : 국립재난안전연구원 선임연구원

<관심분야>

자연재난, 재해, 방재, 도시침수

조 재 응(Jaewoong Cho)

[정회원]



- 2008년 2월 : 강릉대학교 (토목공학 석사)
- 2016년 8월 : 강릉원주대학교 (토목공학 박사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 국립재난안전연구원 시설연구사

<관심분야>

수공학, 자연재난, 도시침수, 인공지능