연안지역 실시간 침수피해예측 모듈을 탑재한 연안재해예측관리시스템 개발

Development of the Coastal Disaster Prediction Management System Linked to Real-time Flood Damage Prediction Modules in Coastal Areas

박인찬* · 박상형** · 김종광***

Park, Inchan*, Park, Sanghyung**, and Kim, Jongkwang***

Abstract

Recent increases in sea level due to climate change have increased disaster vulnerability in coastal urban areas. Heavy rainfall causes river flooding and poor water drainage of riverside pipelines, eventually leading to additional flooding due to sewer and storm drain backflow. Effective disaster response systems that predict and prepare for flood damage due to multiple causes is needed. Therefore, in this study, we developed a coastal disaster prediction management system to enable users to display real-time warning information and to support decision making. We can predict inundation damage in coastal urban areas by linking real-time tidal information and forecast rainfall data using real-time automatic weather station (AWS) rainfall data and MAPLE data. In addition, we tried to provide disaster-related information to various coastal urban areas, such as forecasting inundation scenarios. The development of a coastal disaster prediction management system is expected to allow an effective response to disasters related to rainfall and tides in coastal urban areas.

Key words : Coastal Urban Inundation, Coastal Disaster Prediction Management System, Rainfall-Tide Link

요 지

최근 기후변화로 인한 해수면 상승은 연안도시지역의 재해취약성을 증가시켰다. 만조 수위에 발생한 집중호우는 하천(외수) 범람을 유발하며, 하천변 관거의 내수배제 불량은 오수·우수 역류에 따른 침수를 일으킨다. 복합적인 원인에 의한 침수피해를 예측하고 대비하는 효과적인 재해 대응이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 연안재해예측관리시스템 개발을 통해 사용자에게 실시간 예정보 정보 표출 및 의사결정을 지원할 수 있게 하였다. 실시간 AWS 강우자료와 MAPLE자료를 이용한 예측강우자료 및 실시간 조위정보를 연계하여 연안도시지역의 침수피해를 예측할 수 있게 하였다. 아울러, 기후변화를 고려한 시나리오별 침수예상도 등 다양한 연안도시지역의 재해 관련 정보를 서비스하고자 하였다. 연안재해예측관리시스템 개발은 강우/조위 관련 연안도시지역의 재해를 효과적으로 대응을 할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 연안도시침수, 연안재해예측관리시스템, 강우/조위 연계

1. 서 론

1.1 연구개요 및 필요성

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 제

5차 평가보고서(IPCC, 2013)에 따르면 최근 100년동안 전지구 평균 해수면은 0.19 m 상승했으며, 온난화의 지속으로 평균 해수면은 계속해서 상승할 것으로 전망했다. 이러한 기후변화의 영향으로 연안지역의 재해취약성이 증대되고

*교신저자, 정회원, 노아SNC(주) 연구사업본부 이사(Tel: +82-2-6105-6688, Fax: +82-2-6105-6665, E-mail: alpenglowl@noaa.co.kr)

Corresponding Author, Member, Director, Research Business Department, NOAA SNC Co., Ltd

**노아SNC(주) 연구사업본부 연구소 차장(E-mail: dario@noaa.co.kr)

Deputy General Manager, Research Business Department, NOAA SNC Co., Ltd

***노아SNC(주) 연구사업본부 연구소 직원(E-mail: cease2@noaa.co.kr)

Staff, Research Business Department, NOAA SNC Co., Ltd

있다(MOF, 2015). JRI (2017)은 행정안전부의 지역안전도 평가결과를 바탕으로 연안지역과 내륙지역의 위험도와 대응 수준이 상이하고, 연안지역이 내륙지역에 비해 자연재해로부터 더욱 취약함을 지적하고 있다. 실제로 KMI (2015)의 연구에 따르면 국내의 경우 연안재해로 인한 피해금액은 총 4,323억원(2009~2013년 기준)에 이르며, 같은 기간 우리나라 전체 자연재해 피해금액의 68%를 차지한다. 또한 기후변화 및 해수면 상승의 가속화로 인한 피해 또한 크게 증가할 것으로 전망되고 있어 이에 대한 국가 차원의 대책 수립이 요구된다(KEI, 2015). 이에 따라 연안재해에 대응하고 피해저감을 위한 연구가 이루어지고 있다. KHOA (2011)은 연안재해에 대처하기 위한 해안침수예상도 제작 종합기본계획(2009년)을 수립하였다. 또한 이에 따라 51개 지자체 침수위험지역에 대한 해안침수예상도를 제작하기로 결정하였고 2014년 기준 119개소의 도서지역을 구축하여 서비스 하고 있다. 또한, 연안에서 발생하는 재해에 대하여 노출, 민감도, 적응능력을 평가하여 대응방안을 마련하기 위해 연안재해 취약성 평가체계를 구축하였다.

기후변화로 인하여 증가하는 다양한 재해에 대응하고 지역적 특성으로 인한 재난피해를 최소화하기 위해서는 재난 발생 시 실시간으로 재난관리업무를 지원할 수 있어야 한다. 즉, 재난대응 업무의 효과적인 지원과 활용을 위해서는 재난대응절차에 따른 대처방안을 고려한 현장 중심의 전용 시스템 개발이 필요하다 할 수 있다(Kim et al., 2016). 이에 본 연구에서는 내수·외수·해수 등의 복합원인을 고려한 조건별 침수피해를 예측하고 이와 더불어 실시간 기상자료를 활용하여 연안지역의 재난대응 및 정보지원 체계를 확립시키는 시스템을 개발하고자 한다.

1.2 연구목적 및 방법

본 연구는 내수·외수·해수 등의 복합원인을 고려한 조건별 침수예상도를 조회·표출하고, 이를 실시간 기상자료와 연계를 통해 실시간 침수피해 현황을 제공하는 Web-GIS 기반의 연안재해예측관리시스템을 개발하는데 목적이 있다.

본 연구에서는 실시간 침수피해예측 모듈을 개발하기 위하여 Kim et al. (2009)과 Kim et al. (2010)이 제안한 레이다 강우 자료(MAPLE)과 지상 관측자료(AWS)의 보정방법을 적용하였다. Kim et al. (2009)는 MAPLE자료의 정확성 검토를 통하여 예측강우의 양적인 측면에서의 불확실성을 해소하기 위해 지상강우와의 보정을 제안하였다 또한, Kim et al. (2010)은 우량계와 강우레이다의 공간 분포 비교를 통하여 레이다 자료와 지점 강우관측 자료를 병합함으로써, 관측소 지점에서의 정확한 강우량을 추정하며 강우의 공간정보를 유지할 수 있다고 주장하였다.

시스템의 개발 절차는 다음과 같다(Fig. 1). 먼저 시스템 개발을 위하여 실시간 침수피해예측 모듈을 조사하고, 시스템에 적용하기 위한 분석을 수행하였다. 또한 시스템의 활용

도와 사용자 편의를 고려하여 시스템 메인 인터페이스, 메뉴 체계 등의 개발 방향을 설정하고, 시스템 기능에 대한 설명과 시스템 화면을 제시하였다. 시스템 개발은 디버깅 및 호환성 테스트 등의 개발검증과 양산 검증을 거쳐야 시제품으로 될 수 있으며, 지속적인 개선·보완을 통하여 사용자의 요구사항을 정확하게 구현해야 한다. 본 연구에서는 연안재해예측관리시스템의 활용도와 사용자 중심의 인터페이스 등을 중점으로 연구를 진행하였다.

Fig. 1. Flow for the Development of Coastal Disaster Prediction Management System

2. 실시간 침수피해예측 모듈 개발

연안 침수예측 모듈은 면적평균강우량 산정과 연안 침수재해 상황분석으로 구성된다. 본 연구에서 사용한 면적평균강우량 산정은 연안지역의 침수해석을 위한 방법으로 분석대상지역별로 실시간 강우상황에 따른 면적평균강우량 산정 결과를 조회 및 표출한다. 다음으로 연안 침수재해 상황분석은 연안도시의 피해 위험(취약) 지역을 대상으로 면적평균강우량, 예측조위 등의 실시간 수문기상을 분석하여 관심 연안도시지역의 침수상황을 “주의”, “경계”, “심각” 3 단계로 표출하도록 개발하였다. 다음으로 연안 침수재해 상황분석은 연안도시의 피해 위험(취약) 지역을 대상으로 면적평균강우량, 예측조위 등의 실시간 수문기상을 분석하여 관심 연안도시지역의 침수예상도와 “주의”, “경계”, “심각” 3 단계의 위험등급으로 표출하도록 개발하였다. 침수예상도는 행정안전부에서 수행한 “기후변화 적응을 위한 연안도시지역별 복합원인의 홍수 취약성 평가 기술 개발 및 대응방안 연구”(Park et al., 2017)에서 제시된 74개 연안도시지역을 대상으로 XP-SWMM을 이용하여 연안도시 지역의 침수해석을 통하여 작성한 시나리오별 침수예상도를 이용하였다. 위험등급 산정 방법 또한 Park et al. (2017)이 제시한 각 분석 대상지역별 계획홍수위와 시설제방고를 고려한 예·경보 산정방법을 적용하였다.

2.1 면적평균강우량 산정

본 연구에서는 공간적으로 불균일한 AWS와 MAPLE 자료를 통합하기 위하여 Oh et al. (2006)이 제안한 역거리가중법(Inverse Distance Weighting, IDW)을 적용하여 면적평균강우량을 산정하였다. 역거리가중법은 일반적으로 균질한 격자의 값을 지점값으로 변환할 때 사용하는 방법으로 내삽하고자 하는 지점의 값과 가까이 있는 값은 많은 영향을, 거리가 있으면 작은 영향을 주도록 거리의 역수에 비례하게 가중치를 주어서 내삽하는 방법이다(Oh et al., 2006).

면적평균강우량 산정을 위한 절차는 다음과 같다(Fig. 2). 먼저 분석대상지역 인근지점의 AWS 강우 자료와 MAPLE 예측강우자료를 수신 받는다. 수신된 AWS 강우자료는 분석시점 1시간 이전 10분 단위 강우자료와 연계하고, 역거리가중법(IDW)을 적용하여 MAPLE과 동일한 1km × 1km 격자 기반의 공간단위 면적평균강우량을 계산한다. 이와 함께 MAPLE 예측 강우를 연산하여 연안 침수해석 대상지역의 면적강우량으로 산정한다. 이때 MAPLE 예측 강우는 방재적 관점에서 침수해석 대상지역의 격자별 강우 중 최대예상강우를 대표강우로 적용하며, 재해상황분석판단시스템과의 연계를 고려한 동일한 지속시간(3시간·6시간)으로 예측강우량을 산정한다. 방재적 관점을 적용한다는 의미는 예상하기 어려운 강우현상을 보이는 현실을 감안하고, 예상 가능한 최대의 자료를 활용하여 재해를 대비하는 것을 의미한다. 위 선행 과정들이 자동으로 수행되면, 분석 대상지역별 표 형태로 정보제공이 되며, Web-GIS로 해당지역의 상세정보를 제공할 수 있다.

2.2 연안 침수재해 상황분석

연안 침수재해 상황분석은 실시간 수문기상 상황에 따른 연안하천 배수유역의 연안도시 침수재해 상황을 분석하는 것이다. 연안도시 시/군/구별 시나리오 침수예상도를 실시간

기상상황을 고려하여 침수피해 예상지역을 자동으로 표출하는 것을 목적으로 한다. 다음 상황분석은 Fig. 3과 같이 3단계로 구성된다.

1단계는 예측조위와 AWS, MAPLE 강우자료를 실시간으로 수신 받고 분석한다. 예측조위는 조위관측소의 일, 월, 년 단위 예측조위를 수신 받게 되며, 대상지역 해수위 자료와 매칭하여 예측조위에 대한 빈도를 산출한다. AWS, MAPLE 강우자료는 앞서 2.1항의 면적평균강우량산정 절차를 따라 대상지역에 대한 지속시간별 예측강우량을 자동으로 연산한다. 2단계는 1단계에서 산출한 대상지역에 대한 조위빈도와 지속시간별 예측강우량을 이용하여 빈도-강우량-지속시간 Matrix Table에 따라 강우조건별로 해당하는 침수예상도를 매칭한다. 침수예상 정도에 따라 주의-경계-심각의 예·경보 등급이 설정된다. 3단계는 2단계까지의 분석결과를 표출하는 단계로 전국지도 GIS 기반으로 위험등급이 포인트로 우선 표출되며, 공간 확대(Zoom in) 기능으로 침수해석 범위의 폴리곤을 시각화하여 제공한다.

3. 연안도시 실시간 피해예측관리시스템 개발

3.1 시스템 메인 인터페이스

연안재해예측관리시스템은 포털사이트 형태로 서비스하며, Web을 기반으로 한다. 시스템 메뉴는 다음과 같이 구성된다(Fig. 4). 연안재해예측관리시스템의 메뉴는 시스템 개요, 실시간 모니터링, 연안 침수예측, 취약성 평가, 기후변화 시나리오, 커뮤니티, 유틸리티 등 7가지 메뉴를 Level 1(주 메뉴)으로 설정하였으며, 14개의 Level 2(서브메뉴)로 구성하였다. 메인화면은 Fig. 5의 (a)와 같이 구성하여 로그인 후 연안재해예측관리시스템(Fig. 5(b))에 접속할 수 있도록 하였다.

Fig. 2. Procedures for the Estimation of Areal Average Rainfall

Fig. 3. System Menu Structure

Fig. 4. System Menu Structure

(a) System Login Page

(b) System Main Page

Fig. 5. System Main Page

3.2 시스템 DB 구성

연안재해예측관리시스템 DB 항목은 주요 서비스 항목에 따라 구분할 수 있으며, Table 1을 통해 항목에 대한 설명을 하였다. 주요 서비스 항목은 실시간 모니터링, 연안 침수정보, 취약성 평가, 기후변화시나리오로 구분되며, 실시간 모니터링과 연안 침수정보의 경우 침수예상도에 대한 침수면적, 침수심, 침수조건, 위험등급을 확인할 수 있는 GIS DB로 구성하였다. 취약성 평가는 74개 연안도시 지역의 홍수 취약성 평가에 대한 취약성평가를 시군구 상대적인 비교 가능하도록 랭킹서비스 및 취약성 평가 상세 지수를 GIS DB와 Text DB로 구성하였다. 기후변화시나리오는 RCP 4.5, 8.5 시나리오 자료, 미래확률강우량, 방재성능 목표 강우량 등 기후변화에 대한 정보를 확인할 수 있는 Text DB를 주요 DB 항목으로 구성하였다.

Table 1. DB of Coastal Disaster Prediction Management System

Service LIST	Contents	Type
Real-time Monitoring	<ul style="list-style-type: none"> Flood Prediction Map Flood Inundation Area Inundation Depth Flood Condition Risk Classification 	GIS
Coastal Flood Information		
Vulnerability Assessment	<ul style="list-style-type: none"> Coastal Relative/Precise Flood Vulnerability Vulnerability Ranking Assessment Index 	GIS/Text
Climate Change Scenario	<ul style="list-style-type: none"> RCP Scenario Data Future Design Rainfall Disaster Prevention Target Rainfall 	Text

3.3 시스템 주요 기능

연안재해예측관리시스템의 주요기능은 실시간 연안재해 모니터링, 시나리오별 침수예상도 조회 기능이 있다. 실시간 연안재해 모니터링은 Web-GIS 기반으로 연안도시지역의 읍면동 대표 선행강우량¹⁾과 오늘강우량²⁾ 및 3시간·6시간 예측강우량 등의 강우정보를 제공하며, 이와 함께 조위관측소별 실시간 관측조위와 예측조위 정보를 제공한다. 또한, 실시간 기상상황에 따른 침수위험 지역을 예측하여 자동으로 위험지역에 대한 예·경보 테이블 및 지도상 침수예상도를 표출할 수 있도록 설계하였다. 시나리오별 침수예상도 조회 기능은 복합원인에 의한 빈도·지속시간·강우량 조건별 침수예상도를 제공하며, 이와 함께 한국국토정보공사의 침수흔적도, 국립해양조사원의 해안침수예상도를 동시에 조

- 1) 각 시도의 읍면동 강우량을 분석시간 00시부터 3일 전까지 합산한 값 중 최대값을 말함
- 2) 각 시도의 읍면동 강우량을 해당 날짜 00시부터 분석시간까지 합산한 값 중 최대값을 말함

회할 수 있도록 구성하였다.

3.3.1 실시간 연안재해 모니터링

실시간 연안재해 모니터링은 실시간 기상상황(강우, 조위) 및 분석된 예측자료를 바탕으로 침수예상도를 Web-GIS 상에 표출하도록 설계되어 있다. 실시간 침수피해예측 모듈을 적용하고 있으며, 연안 침수예측 메뉴와 실시간 모니터링 정보 메뉴로 구성되어 있다. 연안 침수 예측 메뉴는 화면 좌측의 기준시간을 선택하여 재해지역에 대한 지역 정보, 위험등급 등 재해정보를 테이블로 제공한다. 3시간·6시간 예측을 선택하면 해당 예측시간에 대한 정보를 제공한다. 화면 중앙에는 한반도 지도를 배치하고, 재해지역을 포인트로 우선 표출된다(Fig. 6). 포인트를 확대함에 따라 연안도시의 침수예상도가 표출된다. 실시간 모니터링 정보 메뉴는 화면 좌측의 실시간 기상상황에 따른 강우자료와 조위자료를 테이블로 제공한다. 시·군·구별 조회가 가능하고 재해지역을 우선으로 제공하며, 화면 중앙 GIS지도에는 해당지역 관측소를 표출한다. 관측소 포인트를 클릭할 시 팝업창을 통하여 강우정보와 조위정보의 그래프 자료를 표출한다.

Fig. 6. Real-time Monitoring Page

3.3.2 시나리오별 침수예상도

시나리오별 침수예상도는 복합원인에 따른 조건별 침수예상도를 조회 및 표출하는 기능으로 Fig. 7과 같이 화면을 구성하였다. 화면 좌측상단에 시/군/구, 내/외수, 조위에 따른 5가지의 빈도별 폭풍해일고, 강우 지속시간, 강우량 등의 조건을 선택하여 침수예상도를 조회할 수 있도록 설계하였다. 시/도, 시/군/구 연안도시에는 명암을 주어서 도시 선택시 사용자의 편의를 고려하였다. 강우량은 슬라이드 바로 조절하여 조회할 수 있다. 화면 좌측하단은 침수 예상도 조회 시 침수 예상 면적, 기상조건, 위험등급 등의 침수예상도의 정보를 표출한다. 화면 중앙에는 배경지도를 배치하였고, 침수예상도를 조회하면 해당 침수예상도가 확대되어 나타나도록 설계하였다.

Fig. 7. Flood Prediction Map on Scenarios Page

4. 결 론

본 연구에서는 실시간 침수피해예측 모듈을 탑재한 연안 재해예측관리시스템을 개발하기 위하여 실시간 침수피해예측 절차를 조사 및 분석하고 시스템의 주요 기능을 도출하여 탑재하였다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 바다와 접한 연안도시의 지역적 특성으로 인한 복합적 자연재해 피해를 최소화하기 위한 실시간 재난관리업무 지원이 필요한 상황에서 연안재해예측관리시스템이 개발됨에 따라 연안도시의 재해대응 및 피해저감 측면에서 효율적인 활용이 가능할 것이다.

둘째, 강우자료를 분석하여 시/군/구별 면적강우량을 산정하고, 조위자료와 연계함으로써 실시간 침수 예상지역에 대한 예·경보와 침수예상도를 시스템에서 확인할 수 있도록 실시간 침수피해예측 모듈을 시스템에 탑재하였다.

셋째, 시스템의 사용자별 메뉴구조도를 바탕으로 주메뉴 7개와 서브메뉴 14개를 도출하였고, GIS DB, Text DB 등의 주요 DB 항목을 표출하였다.

넷째, 향후 연안재해예측관리시스템은 연안도시지역에서 발생하는 침수피해에 대한 예측 근거자료로 활용할 수 있다. 또한, 침수예상도, 취약성평가, 기후변화시나리오 등을 통해 연안지역에서 발생하는 재해와 관련한 사업 전반의 자료로 활용이 가능할 것이다.

본 연구에서 이루어진 실시간 침수피해예측 모듈을 탑재한 연안재해예측관리시스템 개발을 통해 실시간 수문기상 상황에 따른 연안도시 지역의 침수피해예측, 시나리오별 침수예상도 분석 등의 연안도시 지역의 침수피해에 대한 전반적인 업무 지원과 재해예방 및 대응의 측면에서 효과적으로 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 정부(행정안전부)의 재원으로 재난안전기술개발 사업단의 지원을 받아 수행된 연구임[MOIS-재난-2015-03].

References

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2013). *IPCC 5th Assessment report*.
- JRI (Jeju Research Institute). (2017). *Current status and implications of domestic and foreign coastal disaster*.
- KEI (Korea Environment Institute). (2015). *Studies on the coastal impact assessment and adaptation strategy based on RCP climate scenario*.
- KHOA (Korea Hydrographic and Oceanographic Agency). (2011). *Result report of developing a coastal disaster assessment system*.
- Kim, B.G., Jang, D.W., Yang, D.M., and Yu, C.S. (2009). Investigation on accuracy of MAPLE data for very short-term forecasting: The case of severe rainstorm events in July 2008 and July 2009. *Water for Future*, Vol. 42, No. 12, pp. 52-64.
- Kim, B.S., Kim, H.S., and Yang, D.M. (2010). Comparison of spatial distributions of rainfall derived from rain gages and a radar. *Journal of Wetlands Research*, Vol. 12, No. 1, pp. 63-73.
- Kim, T.M., Kim, W.H., Lee, S.H., and Sim, W.B. (2016). A study on the derivation of required information and function setting for damage management system based on disaster response procedure. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 16, No. 5, pp. 97-104.
- KMI (Korea Maritime Institute). (2015). *A study on coastal safety assessment measures against natural disaster*.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). (2015). *Basic investigation of coast*.
- Oh, H.M., Ha, K.J., and Heo, K.Y. (2006). Estimation of quantitative precipitation rate using an optimal weighting method with RADAR estimated rainrate and AWS rainrate. *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 22, No. 6, pp. 485-493.
- Park, M.J., et al. (2017). *Development of flood vulnerability assessment technology for various causes of coastal cities for adaptation to climate change*. Ministry of the Interior and Safety.

Received	October 25, 2018
Revised	October 26, 2018
Accepted	November 6, 2018