



연안도시 내수침수 피해저감을 위한 예·경보 체계 구축: 여수시를 중심으로

A Forecasting and Alarm System for Reducing Damage from Inland Inundation in Coastal Urban Areas: A Case Study of Yeosu City

최종원* · 박규진** · 최소현*** · 전환돈****

Choi, Jongwon* · Park, Kyujin** · Choi, Sohyeon***, and Jun, Hwandon****

Abstract

Frequent typhoons and localized heavy rains are becoming more frequent owing to climate change and global warming. In coastal cities, more damage is caused by rising sea level and high waves. For this reason, considering the rainfall conditions combined with the rise in sea level, we presented flood forecasting criteria for coastal cities. The scenario was applied to the Yeosu area, and was analyzed through the criteria of the decree selected at that time. In order to analyze the selected scenario, the XP-SWMM model was applied and the standard based on the inundation alarm was analyzed. Even if the area was located in Yeosu City, the appearance of the table of the inundation alarm differed depending on the topographical characteristics. Considering these characteristics, it is necessary to manage the criteria for inundation forecasts in coastal cities by subdividing them for each region.

Key words : Coastal Urban Area, Inland Inundation, Complex Causes, Inundation Forecast

요 지

최근 기후변화 및 온난화 현상 등으로 잦은 태풍과 국지성 호우가 잦아지고 있다. 또한 해안가와 접한 연안도시는 높은 파고 및 해수면 상승에 의해 보다 많은 피해가 발생하고 있다. 이에 강우조건과 해수위 상승에 의한 복합원인을 고려한 연안도시의 내수 관망의 홍수 예경보 발령 기준을 제시하였다. 이때 선정된 발령 기준을 통하여 여수 지역에 대하여 시나리오를 적용하여 분석을 실시하였다. 선정된 시나리오를 분석하기 위해 XP-SWMM 모형을 적용하여 예경보 발령 기준의 변화 양상을 분석하였다. 예경보 발령 기준지점의 위치가 조금만 바뀌더라도 지형적 특성에 의해 예경보 발령 기준표가 다른 양상을 보인다. 이러한 특성을 고려하여 연안도시에서 홍수 예경보를 위한 발령 기준은 지역별로 세분화하여 관리할 필요가 있다.

핵심용어 : 연안도시, 내수침수, 복합원인, 침수 예경보

1. 서 론

2017년 7월 16일, 충북 청주시에는 시간당 91.8 mm의

강우가 내려 청주기상지청 관측 이래 시간당 최대 강우량이 발생하였다. 하루사이에 290 mm 이상의 강우가 발생하여 철도 및 도로 운행이 중단되고, 일부 지역 교육기관은 휴교되

*정회원, LIG시스템 위험관리연구소 사원(E-mail: gksapdlf1599@naver.com)

Member, Manager, LIG System

**정회원, 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 석사과정

Member, Master Course, Department of Civil Engineering, Seoul national University of Science and Technology

***정회원, 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 석사과정

Member, Master Course, Department of Civil Engineering, Seoul national University of Science and Technology

****교신저자, 정회원, 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 교수(Tel: +82-2-970-6570, Fax: +82-2-948-0043, E-mail: hwjun@seoultech.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Seoul national University of Science and Technology

었다. 청주시는 이날 홍수·산사태 주의보를 발령하여, 인근 지역 주민에게 대피를 권고했다. 청주의 홍수 피해에서도 알 수 있듯이, 최근의 국내 강우패턴은 이상기후의 영향으로 기존의 강우패턴과는 다른 양상을 보이고 있다. 홍수 예경보 발령 기준은 강우를 기반으로 하고 있다. 호우주의보는 6시간 강우량이 70 mm 이상이거나 12시간 강우량이 110 mm 이상으로 예상되는 경우 발효되고, 호우경보는 6시간 강우량이 110 mm 이상이거나 12시간 강우량이 180 mm 이상으로 예상될 때 발효되고 있다.

최근 기후변화로 인한 해수면 상승 및 높은 해일고의 폭풍 등의 요인에 따라 작은 강우에도 침수피해가 발생하는 지역이 나타나고 있다. 특히 내륙의 도시와는 다르게 연안도시에서는 집중호우와 더불어 해수면 상승에 의한 피해가 발생하고 있다. 그 피해는 해안 저지대의 해안가 월류로 인한 침수와 배수토구의 잠식에 의한 내수배제능력 저하로 인한 침수 등이 원인이 되어 발생되고 있다. 이처럼 지형적 특성 또는 수방시설의 내수배제능력 등 강우 이외의 요인으로 작은 강우에도 큰 피해가 발생하는 지역이 있을 수 있다. 따라서 홍수 방어를 위해 단순 강우만을 고려할 것이 아니라 해수위 상승과 같은 복합적인 원인이 고려된 홍수 예경보 체계의 구축이 필요하다.

기존에 홍수 예경보와 관련된 많은 연구들이 수행되었다. Shin et al. (2007)은 SWMM과 HEC-RAS를 연계한 도시홍수 예경보시스템 구축하여 예경보에 활용을 하였으며, Park et al. (2009)는 분포형유출모델(TOPMODEL)을 활용한 홍수 예경보모형을 제안하였고, Shim (2011)은 서울의 청계천에 대하여 유량예측을 위한 수위산정을 Flow Nomograph를 개발하여 도시하천에서 하천의 예경보 수위를 유량과 연관지어 설명하였다. Song et al. (2014)은 도시하천에서의 홍수 예경보를 위한 선행시간 확보를 위한 기준 강우량 예경보 분석 절차를 수립하였다. 또한 Song et al. (2015)는 HEC-HMS, HEC-RAS를 이용하여 하천에 대한 홍수 예경보 발령기준의 타당성을 분석하였다.

또한 홍수 예경보와 더불어 Park et al. (2017)은 연안도시 지역에 대하여 내륙지역과는 다르게 복합원인을 고려한 침수해석을 수행해야 하며 그 결과를 토대로 홍수 예경보를 해야함을 강조하고 있다.

본 연구에서는 연안도시의 내수 관망에 대하여 침수의 주된 피해 원인인 집중호우와 같은 강우의 영향과 해수면 상승으로 인한 하천의 배수위 영향과 해수면 상승으로 인한 내수 관망에 직접적인 배수위 영향을 다루고자 한다. 이렇게 강우의 영향과 배수위 영향을 내수 관망에 복합적으로 고려하여 홍수 예경보 체계를 구축하였다. 이를 위하여 다양한 강우 시나리오를 만들고, 배수위 영향을 위해 자유방류를 포함해서 폭풍해일로 인한 해수위 상승고를 적용하여 XP-SWMM에 의한 기준 지점의 홍수위를 산정하였다. 산정된 홍수위를 기준으로 연안도시 지역에서 내수 관망의 복합원인을 고려한

홍수 예경보 발령 기준을 고려하고자 하였다. 이를 위하여 여수시의 연등천 지역과 여수시청 지역에 대하여 XP-SWMM을 이용하여 침수해석 수행하였다. 해석 결과를 토대로 홍수 예경보 발령 기준표를 작성하였다. 작성된 예경보 기준의 분석을 통해 지역별 예경보 기준의 양상이 차이가 있음을 확인하였다. 이를 통하여 연안도시에서 지역별로 다양한 홍수 예경보 기준의 필요성을 강조하고자 한다.

최종적으로 지역별로 구축된 연안도시의 홍수 예경보 기준은 내배수시설 관리자 및 공공기관의 침수위험지역 내수배제계획 수립을 위하여 활용될 수 있을 것이다. 뿐만 아니라, 기후변화로 인한 도시 내배수시설의 국지적 용량 부족 현상에 대하여 해수면 상승의 영향을 받는 시설물의 계획 및 대응체계 마련에 기반 기술로써 활용될 수 있을 것이다.

2. 연구 수행방법

본 연구에서는 복합원인을 고려한 침수해석을 통해 다양한 시나리오를 기반으로 홍수위를 산정하며, 그 값을 기반으로 예경보 기준을 선정하고자 한다. 그 방법은 다음과 같다.

2.1 복합원인을 고려한 연안도시의 침수해석

본 연구에서는 연안도시에 대하여 적절한 지점을 선정하여 홍수 예경보를 위한 수리 및 수문분석을 수행하였으며, 그 결과는 강우량-지속시간 별 예경보 발령을 위한 홍수위를 산정하였다. 일반적으로 다른 선행 연구에서는 홍수 예경보를 위해 HEC-HMS 모형을 사용하여 강우에 따른 유출을 모의하고, 대상구역에서 하천이 존재하는 경우에 배수위에 의한 영향은 HEC-RAS 모형을 통하여 개별 지점에 대한 홍수위를 모의하였다. 본 연구에서는 내수침수에 대한 홍수 예경보를 위하여 XP-SWMM을 이용하여 예경보 발령 지점에 대하여 유출모의를 통한 홍수위 산정을 실시하였다. 또한 복합적인 원인을 고려하기 위해 XP-SWMM에서 방류토구의 위치에 따라 기점수위로 해수위 상승고를 적용하거나, 선행 연구에서 사용한 HEC-HMS 및 HEC-RAS를 연계한 하천 홍수위를 적용하였다.

따라서 연안도시의 복합원인을 고려한 침수해석을 위해 다양한 시나리오를 기반으로 해당 모형들이 상호 연계가 되어 분석되었다. 또한 하류의 배수위 조건에 따라서 다양한 홍수위가 산정되며, 이에 따라 예경보 발령 기준은 하류의 수위 조건에 따라 가변적인 결과를 나타내게 될 것이다(Song et al., 2014).

2.2 홍수 예경보를 위한 시나리오의 작성

홍수 예경보를 위한 강우 시나리오는 강우 지속시간 8개 30분, 60분, 120분, 180분, 240분, 360분 540분, 720분에 15개의 강우량 시나리오 10, 30, 50, 70, 90, 110, 130, 150, 200, 250,

300, 350, 400, 450, 500 mm로 총 120개로 구성된다. 이 강우량 시나리오는 강우-유출모의 시에 Huff 4분위법의 3분위를 사용하여 강우 분포한 값을 적용하였다.

또한 이 120개의 시나리오와 더불어 6개의 배수위 영향을 고려한 해수위 상승고를 고려한다. 그 조건으로 자유방류의 조건, 약최고고조위(A.H.H.W.L.) 조건, 약최고고조위에 10년빈도 폭풍해일고, 30년빈도 폭풍해일고, 50년빈도 폭풍해일고, 100년빈도 폭풍해일고가 더해진다. 따라서 총 720개의 시나리오를 구성한다.

2.3 복합원인을 고려한 홍수 예경보 발령 기준 선정

본 연구에서는 연안도시의 내수침수 홍수 예경보의 기준은 주의, 경계, 심각과 같이 3가지로 구분하고 있다. 그 기준은 다음 Fig. 1과 같다. 예경보 기준은 선정된 지점의 맨홀을 기준으로 맨홀 바닥에서 맨홀과 연결된 관의 관경의 70% 이상 홍수위가 상승한 경우는 주의, 그 관의 관경고 이상으로 홍수위가 상승 즉, 맨홀을 월류하였을 경우를 심각으로 구분하고 있다. 이와 같은 기준에 따라 여수시 연등천 지역과 여수시청 지역에 대하여 내수 침수해석을 통해 복합원인을 고려한 홍수 예경보 기준표를 작성하였다.

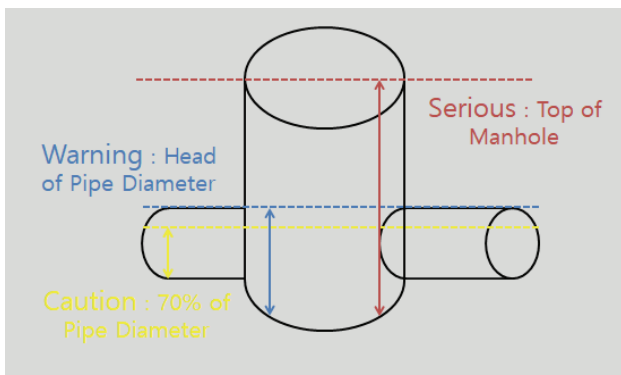


Fig. 1. Criteria of Inland Inundation Alert

Table 1. The table of criteria of Inland Inundation Alert (Park et al., 2017)

Criteria of Inundation Alert	Inundation Depth
Safe	$0 < \text{Inundation Depth} < 70\% \text{ of Pipe Diameter}$
Caution	$70\% \text{ of Pipe Diameter} \leq \text{Inundation Depth} < \text{Head of Pipe Diameter}$
Warning	$\text{Head of Pipe Diameter} \leq \text{Inundation Depth} < \text{Top of Manhole}$
Serious	$\text{Top of Manhole} \leq \text{Inundation Depth}$ (State of Overflow)

3. 복합원인을 고려한 침수 해석

3.1 내수침수 대상 지역 선정

복합원인에 의한 침수지역 선정을 위하여 해안에 위치하고 있는 하천 인근의 도심지와 해안에 인접한 도심지를 침수지역 후보군으로 선정하였다. 여수시에는 12개의 지방 하천이 위치하고 있으며, 이를 토대로 현장조사 및 침수피해 이력 확인을 통해서 연등천 지역과 여수시청 지역을 선택하였다. 특히, 여수시 “풍수해저감종합계획(2015)”에서는 이 두 지역 등이 과거 홍수 및 태풍에 의해 침수피해가 발생하였다고 기재되어 있다.

첫 번째로, 연등천 지역은 해수, 외수, 내수의 복합원인에 의한 침수피해가 발생하고 있는 지역으로, 연등천 좌안에는 교동시장이 우안에는 서부시장이 위치하고 있으며, 연등천 하구에는 여객선터미널이 위치하고 있는 등 해안가 중심지로 상업이 발달한 지역이다. 또한 상업지구와 함께 학교 및 주거지가 밀집해있다. 특히, 연등천 인근에는 노후화된 건물들이 대다수 밀집하고 있어 침수발생 시 큰 피해가 예상된다. 연등천 좌안의 충무동은 상습 침수 지구로 지정되어 있으며, 실제로 연등천의 홍수위 상승으로 인한 방류토구의 내수배제 불량으로 매년 집중호우 발생 시 침수피해가 발생하고 있는 실정이다. 이에 인근 지역의 침수 피해를 감소하고자 남산배수펌프장을 건설하였으나, 단순 집중호우 발생 시에는 원활한 배수를 통해 침수피해 저감에 효과를 주고 있으나, 본 연구에서 중점을 두고 있는 해수위 상승과 집중호우에 의한 연등천의 홍수위가 상승하는 경우 배수펌프장으로서의 침수 저감에 큰 효과를 주고 있지 못하다고 확인되었다. 현장조사를 통한 현지 인터뷰를 통해 확인한 결과, 만조 시 연등천의 홍수위 상승에 의해 하천으로 내수의 배제가 원활하지 못하여 인근지역이 상습적으로 침수피해가 발생한다고 하였다.

다음으로, 여수시청 지역은 여수시청을 포함하여 상가 및 주거지역으로 구성되어 있다. 시청 인근지역의 대부분은 지대가 평탄하며, 연등천 인근 지역과는 다르게 해당 지역 인근에는 바다로 나가는 하천이 존재하지 않는다. 이에 여수시청 인근은 해수위 상승이 방류토구의 내수배제에 영향을 주어 해수·내수에 의한 복합원인 침수피해가 발생할 수 있는 지역이다. 특히, 상류의 관망의 경사가 급하고, 하류로 갈수록 관망의 경사 완만하여 상류에서의 우수가 하류에 적체되는 현상이 발생할 수 있으며, 시청 동편사거리와 도원사거리로 우수관거가 한곳으로 합류되어 남해로 유출된다. 현지의 인터뷰결과 도원사거리에서 침수피해가 자주 발생한다고 확인 되었다.

3.2 홍수 예경보 발령을 위한 침수 시나리오

본 연구에서는 Table 2와 같이 여수 앞바다의 해수위 상승고 조건은 Park et al. (2017)에서 수행한 연구결과를

Table 2. The Rising Sea Level (Park et al., 2017)

Area	A.H.H.W.L.	10-years frequency Storm	30-years frequency Storm	50-years frequency Storm	100-years frequency Storm
Yeondeung River	1.72	1.30	1.76	2.00	2.22
Yeosu City Hall	1.98	1.34	1.81	2.03	2.28

적용하였다. 또한 위에서 언급한 강우시나리오 120개의 조합으로 총 720개의 시나리오에 대하여 침수해석을 수행하였다. 최종적으로는 침수모의를 통하여 홍수 예경보 기준표를 작성하였으며, 그 결과를 통하여 해당 지역에 대한 시나리오 별 침수 위험상태를 알아보고자 하였다.

3.2 대상 지역의 홍수 예경보 발령 지점의 선정

본 연구에서 목표로 하는 복합원인을 고려한 홍수 예경보 기준표 작성을 위해, 예경보 발령 지점을 선정하는 것은 중요하다. 그 이유는 선정된 지점이 의해 해당 지역의 침수 위험상태 및 예경보 발령의 대표성을 가지게 되기 때문이다. 발령 지점을 선정하는 순서는 다음과 같다. 먼저, 그 일대 지역에 대하여 현장조사 및 보고서를 활용하여 발령 지점의 후보지를 침수위험지구에서 선정한다. 그 다음으로, 대상지역을 XP-SWMM을 통하여 침수모의를 실시하여 수행된 침수모의 결과를 토대로 가장 먼저 월류가 발생하는 지점을 발령 지점으로 선정하였다. 연등천 지역의 경우, 연등천 좌안의 로타리 교차로 지점이 “풍수해저감종합계획”에서 침수위험지구에 위치하고 있으며, XP-SWMM을 이용한 침수 모의 결과 가장 먼저 월류 및 침수가 발생하는 지역이다. 여수시청 지역의 경우에는 앞의 선정 순서에 따라 도원사거리 인근 지점을 발령 지점으로 선정하였다. 위에서 설명한 두 지점의 실제 위성지도에 따른 위치는 Figs. 2 and 3과 같다.



Fig. 2. The Point fo Yeondeung-River

4. 홍수 예경보 기준 검토

4.1 내수 침수해석을 위한 경계조건 설정

홍수 예경보 발령 지점의 홍수위를 산정하기 위해서 본 연구에서는 XP-SWMM을 이용하여 내수 관망에 대하여 강우-유출 분석 및 홍수위를 산정하였다. 특히 연구 대상지인 연등천 지역과 여수시청 지역의 하류단 경계조건이 다르게 적용된다. 연등천 지역은 해당지역의 관망의 최 하류단(배수토구)의 경계조건은 배수토구가 위치하고 있는 연등천의 홍수위가 적용이 된다. 이 연등천의 홍수위는 앞서 언급한 해수위 상승고가 적용된 720개의 시나리오에 따라 다르게 적용되었다. 연등천 홍수위 산정을 위해서는 HEC-HMS와 HEC-RAS를 연계하였다. 다음으로, 여수시청 인근 지역의 내수배제체계의 경우에는 배수토구가 직접 남해로 방류가 되기 때문에 XP-SWMM에서 배수토구의 경계조건으로 해수위 상승고를 적용하여 홍수위를 산정하게 된다.

4.2 복합원인을 고려한 홍수 예경보 기준표의 작성

여수시 연등천 지역의 로타리 교차로를 중심으로 해수, 외수, 내수의 복합원인을 고려하여 침수해석을 수행하였다. 위에서 언급한 예경보 기준에 따라 해당 지역의 기준 지점인 로타리 교차로의 맨홀을 기준으로 관경의 70% 이상(1.61 EL. m)은 주의, 관경고 이상(1.91 EL. m)은 경계, 지반고

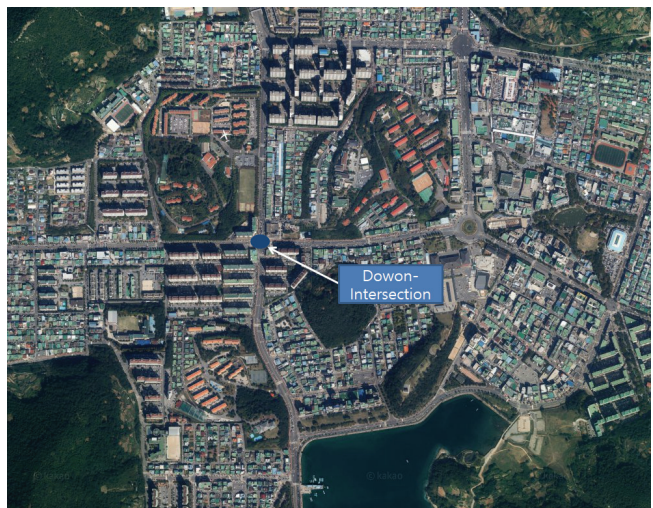


Fig. 3. The Point fo Yeosu City Hall

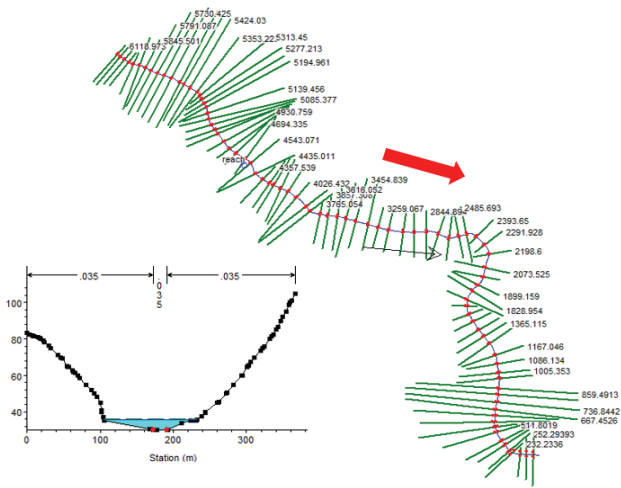


Fig. 4. Yeondeung-River in HEC-RAS

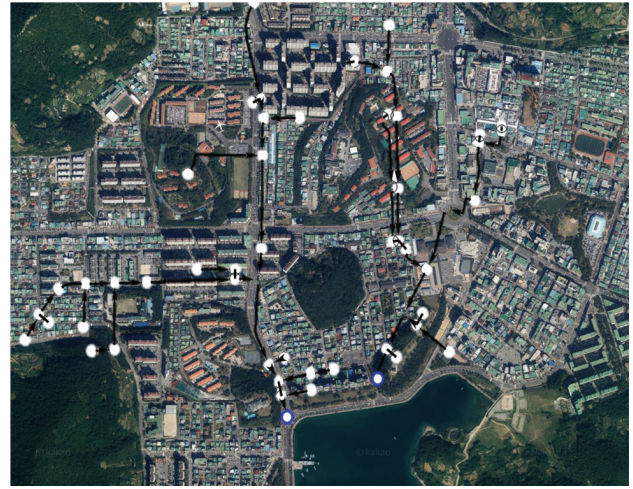


Fig. 6. The Point fo Yeosu City Hall



Fig. 5. Pipe Network in Yeondeung-River

이상(2.88 EL. m)은 심각으로 구분하여 예경보 발령 기준표를 작성하였다. 이 중 자유방류 조건과, 약최고고조위, 10년 빈도 폭풍해일고에 대한 홍수 예경보 기준표는 Tables 3, 4, 5와 같다.

이에 연등천 지역의 복합원인을 고려한 홍수 예경보 기준표는 다음과 같다.

작성된 홍수 예경보 기준표는 총 4가지로 구분이 되어진다. 노란색은 주의기준, 파란색은 경계, 빨간색은 심각 발령 기준이다. 연등천 지역의 로타리 교차로 맨홀의 결과를 보면, Table 3은 자유방류 즉 배수토구에 아무런 영향이 없는 단순 강우에 의한 결과이다. 30분에 30 mm의 강우가 발생할 경우 맨홀에서 처음 월류가 발생하며 자유방류 기준의 기준표의 120개 중에 71개가 심각, 2개 시나리오가 경계, 19개 시나리오에서 주의 기준이 발령되고 있다. 또한 약최고고조위의 조건의 기준표는 자유방류와 지속시간 60분을 제외하

Table 3. Table of Caution/Warning/Serious (EL. m) in Yeondeung-River (Freefall)

Rainfall (mm)	Freefall							
	Duration (min)							
	30	60	120	180	240	360	540	720
10	1.837	1.552	1.380	1.315	1.280	1.242	1.212	1.186
30	3.531	2.526	1.730	1.562	1.475	1.383	1.317	1.263
50	3.874	3.486	2.198	1.786	1.649	1.505	1.404	1.325
70	4.068	3.709	3.013	2.032	1.816	1.622	1.486	1.381
90	4.202	3.867	3.445	2.625	1.999	1.734	1.564	1.434
110	4.325	4.016	3.584	3.210	2.385	1.846	1.641	1.486
130	4.470	4.174	3.696	3.430	2.841	1.969	1.716	1.536
150	4.594	4.297	3.913	3.535	3.275	2.207	1.789	1.586
200	4.845	4.564	4.224	3.979	3.588	2.964	1.990	1.706
250	5.058	4.739	4.407	4.204	4.026	3.448	2.540	1.824
300	5.268	4.884	4.535	4.338	4.191	3.796	3.107	1.953
350	5.451	5.019	4.633	4.446	4.293	4.078	3.408	2.212
400	5.626	5.143	4.720	4.520	4.386	4.174	3.660	2.600
450	5.790	5.256	4.798	4.582	4.453	4.242	3.951	2.929
500	5.973	5.359	4.870	4.639	4.505	4.300	4.105	3.289

Table 4. Table of Caution/Warning/Serious (EL. m) in Yeondeung-River (A.H.H.W.L.)

A.H.H.W.L								
Rainfall (mm)	Duration (min)							
	30	60	120	180	240	360	540	720
10	1.837	1.552	1.380	1.315	1.280	1.242	1.212	1.186
30	3.531	2.880	1.730	1.562	1.475	1.383	1.317	1.263
50	3.874	3.486	2.198	1.786	1.649	1.505	1.404	1.325
70	4.068	3.709	3.013	2.032	1.816	1.623	1.486	1.381
90	4.202	3.867	3.445	2.628	2.214	1.887	1.599	1.434
110	4.325	4.019	3.594	3.319	2.805	2.207	1.894	1.486
130	4.470	4.175	3.725	3.484	3.197	2.457	1.981	1.536
150	4.594	4.299	3.938	3.579	3.392	2.635	2.115	1.593
200	4.845	4.565	4.230	4.018	3.709	3.285	2.432	1.964
250	5.058	4.740	4.410	4.214	4.066	3.548	2.904	2.156
300	5.268	4.884	4.536	4.346	4.203	3.924	3.350	2.369
350	5.451	5.020	4.633	4.448	4.300	4.107	3.538	2.623
400	5.626	5.143	4.721	4.521	4.391	4.185	3.826	2.936
450	5.788	5.255	4.798	4.583	4.455	4.248	4.043	3.274
500	5.978	5.358	4.870	4.639	4.506	4.304	4.122	3.392

Table 5. Table of Caution/Warning/Serious (EL. m) in Yeondeung-River (10-year frequency storm)

A.H.H.W.L. + 10-yr frequency storm								
Rainfall (mm)	Duration (min)							
	30	60	120	180	240	360	540	720
10	2.911	2.896	2.874	2.867	2.862	2.857	2.799	1.449
30	3.531	2.938	2.908	2.898	2.897	2.894	2.871	2.861
50	3.874	3.486	2.965	2.957	2.952	2.943	2.921	2.871
70	4.068	3.709	3.010	2.997	2.987	2.973	2.954	2.891
90	4.202	3.867	3.445	3.024	3.013	2.994	2.975	2.920
110	4.325	4.020	3.594	3.377	3.025	3.012	2.991	2.940
130	4.471	4.177	3.755	3.529	3.402	3.022	3.005	2.957
150	4.594	4.300	3.964	3.642	3.494	3.316	3.018	2.969
200	4.845	4.566	4.241	4.062	3.854	3.527	3.344	2.993
250	5.059	4.741	4.418	4.234	4.115	3.841	3.462	3.012
300	5.269	4.885	4.539	4.362	4.228	4.061	3.693	3.280
350	5.451	5.021	4.636	4.455	4.317	4.152	3.903	3.383
400	5.627	5.145	4.723	4.525	4.403	4.212	4.053	3.456
450	5.789	5.258	4.801	4.586	4.461	4.269	4.111	3.506
500	5.982	5.361	4.872	4.642	4.509	4.321	4.156	3.606

Table 6. The Number of Cells by Alerting Criteria in Yeondeung-River

Criteria of Inundation Alert (The Number / The ratio to All Scenarios)	Boundary Conditions					
	Freefall	A.H.H.W.L.	10-years frequency Storm	30-years frequency Storm	50-years frequency Storm	100-years frequency Storm
Safe	28 / 23%	27 / 23%	0 / 0%	0 / 0%	0 / 0%	0 / 0%
Caution	19 / 16%	14 / 12%	1 / 1%	1 / 1%	1 / 1%	1 / 1%
Warning	2 / 2%	4 / 3%	8 / 7%	8 / 7%	8 / 7%	8 / 7%
Serious	71 / 59%	75 / 63%	111 / 93%	111 / 93%	111 / 93%	111 / 93%

고 같은 경우에서 예경보가 발령이 시작되며 그 양상은 거의 비슷하다. 그러나 초기 예경보 발령 강우를 넘어서면 상향된 기준의 예경보가 발령되고 있다. 이에 반면에 10년 빈도의 폭풍해일고가 발생 시에는 111개의 시나리오가 심각, 8개가 경계, 1개가 주의의 예경보가 발령이 되어, 자유방류와 약최고고조위의 조건과 발령 기준표의 양상의 차이가 큼을 알 수 있다. Table 6을 통해 확인한 결과, 자유방류 및 약최고고조위와는 다르게 10년 빈도 이상의 폭풍해일고 조건부터 모든 시나리오에서 주의, 심각, 경계의 발령되며 낮은 경우에서도 심각 기준이 발령되고 있는 것으로 확인되었다.

따라서 Fig. 7에서 확인 가능하듯이 연등천 지역의 홍수 예경보 발령기준은 약최고고조위의 해수위 상승고까지는 강우강도에 크게 영향을 받고 있으나, 10년 빈도의 폭풍해일고 이상의 조건에서는 강우보다는 해수위 상승고에 지배적인 영향을 받고 있음을 확인하였다.

다음으로 여수시 여수시청 지역의 도원사거리를 중심으로 해수, 내수의 복합원인을 고려하여 침수해석을 수행하였다. 위에서 언급한 예경보 기준에 따라 도원사거리의 맨홀을 기준으로 관경의 70% 이상(3.17 EL. m)은 주의, 관경고 이상(3.62 EL. m)은 경계, 지반고 이상(4.4 EL. m)은 심각으로 구분하여 홍수 예경보 발령 기준표를 작성하였다. 이 중 자유방류, 약최고고조위, 10년, 50년 빈도 폭풍일고에 의한 홍수 예경보 기준표는 Tables 7, 8, 9, 10의 순으로

작성되었다.

여수시청 지역 도원사거리의 복합원인을 고려한 홍수 예경보 기준표와 Table 11을 함께 보면 자유방류조건과 약최고고조위 조건의 기준표가 동일하다는 것을 알 수 있다. 즉 해당 지역의 방류토구는 약최고고조위의 해수위 상승까지는 내수 관망에 영향을 미치지 못한다고 판단할 수 있다. 그러나 10년빈도 해일고 이상에서부터는 모든 시나리오에서 주의, 경계, 심각한 기준 발령이 되었다. 또한 10년 빈도와 50년 빈도 폭풍해일고를 비교하며 지속시간 120분, 180분 240분에서 급격하게 홍수위가 상승하면서 경계에서 심각 발령 기준으로 상향됨을 확인하였다. 즉 폭풍해일고 빈도가 높아질수록 점진적으로 발령 기준이 상향됨을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 여수시의 연등천 지역과 여수시청 지역의 내수침수에 대하여 해수위 상승고를 고려한 복합원인에 의한 침수 모의를 실시하였다. 그 침수모의 결과를 기준으로 홍수 예경보 기준표를 작성하였다. 그 결과로 연등천 지역은 약최고고조위 이하의 해수위 상승고는 해당 내수 관망에 영향이 미비하나 그 이상의 해수위 상승고 발생 시 급격하게 홍수위가 높아져 120개의 시나리오 중 93%의 시나리오에서 월류가 발생하는 심각 기준이 발령되었다. 여수시청 지역은

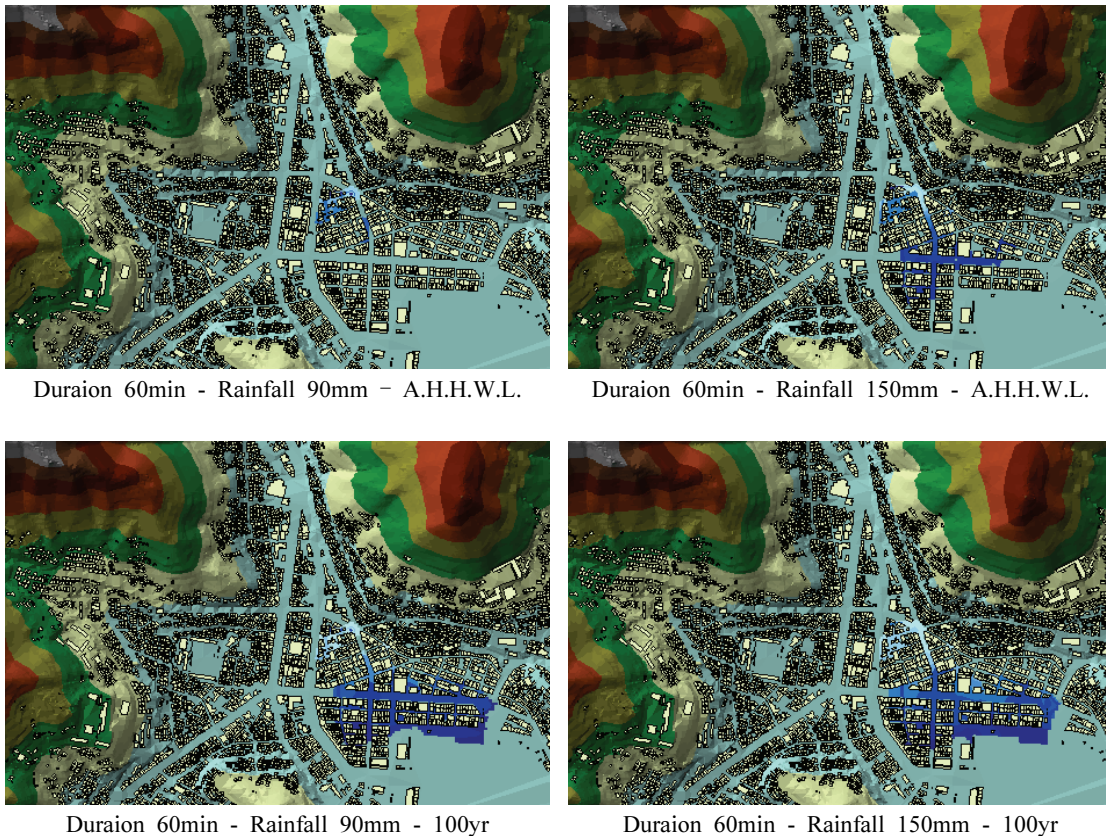


Fig. 7. Flood Map of Yeondeung-River

Table 7. Table of Caution/Warning/Serious (EL. m) in Yeosu City Hall (Freefall)

Rainfall (mm)	Freefall							
	Duration (min)							
	30	60	120	180	240	360	540	720
10	3.946	3.675	3.522	3.462	3.427	3.390	3.360	3.335
30	4.931	4.199	3.821	3.681	3.606	3.524	3.463	3.411
50	5.313	4.702	4.082	3.866	3.753	3.632	3.543	3.470
70	5.566	5.103	4.334	4.040	3.888	3.730	3.615	3.522
90	5.716	5.396	4.586	4.209	4.018	3.822	3.682	3.570
110	5.853	5.504	4.842	4.376	4.145	3.911	3.746	3.616
130	6.035	5.608	5.188	4.544	4.271	3.997	3.807	3.659
150	6.275	5.718	5.418	4.990	4.397	4.083	3.867	3.701
200	6.787	6.113	5.563	5.421	5.190	4.652	4.030	3.801
250	7.284	6.545	5.811	5.526	5.425	5.149	4.577	3.896
300	7.843	7.020	6.195	5.756	5.508	5.332	5.000	3.989
350	8.363	7.462	6.580	6.065	5.730	5.433	5.160	4.135
400	8.843	7.887	6.940	6.387	6.016	5.534	5.276	4.574
450	9.314	8.286	7.271	6.702	6.384	5.702	5.388	4.883
500	9.742	8.658	7.577	6.975	6.516	5.888	5.471	5.090

Table 8. Table of Caution/Warning/Serious (EL. m) in Yeosu City Hall (A.H.H.W.L.)

Rainfall (mm)	A.H.H.W.L							
	Duration (min)							
	30	60	120	180	240	360	540	720
10	3.946	3.675	3.522	3.462	3.427	3.390	3.360	3.335
30	4.928	4.199	3.821	3.681	3.606	3.524	3.463	3.411
50	5.313	4.702	4.083	3.866	3.753	3.632	3.543	3.470
70	5.566	5.103	4.334	4.040	3.888	3.730	3.615	3.522
90	5.717	5.396	4.586	4.209	4.018	3.822	3.682	3.570
110	5.854	5.504	4.842	4.376	4.145	3.911	3.746	3.616
130	6.040	5.608	5.188	4.544	4.271	3.997	3.807	3.659
150	6.276	5.718	5.418	4.993	4.397	4.083	3.867	3.701
200	6.786	6.110	5.563	5.421	5.190	4.655	4.030	3.801
250	7.317	6.546	5.811	5.526	5.425	5.149	4.577	3.896
300	7.846	7.018	6.195	5.756	5.508	5.332	5.000	3.989
350	8.367	7.462	6.580	6.065	5.730	5.433	5.160	4.135
400	8.845	7.888	6.940	6.387	6.131	5.581	5.276	4.574
450	9.314	8.286	7.272	6.703	6.384	5.695	5.388	4.886
500	9.743	8.661	7.577	6.975	6.516	5.888	5.471	5.090

Table 9. Table of Caution/Warning/Serious (EL. m) in Yeosu City Hall (10 year frequency storm)

Rainfall (mm)	A.H.H.W.L. + 10-yr frequency storm							
	Duration (min)							
	30	60	120	180	240	360	540	720
10	3.946	3.675	3.522	3.462	3.427	3.390	3.360	3.335
30	5.182	4.404	3.928	3.757	3.663	3.557	3.478	3.415
50	5.405	4.886	4.229	3.980	3.845	3.695	3.582	3.488
70	5.622	5.143	4.501	4.181	4.007	3.816	3.673	3.555
90	5.785	5.421	4.803	4.368	4.157	3.927	3.757	3.617
110	5.960	5.604	4.928	4.550	4.300	4.033	3.835	3.674
130	6.123	5.665	5.232	4.772	4.434	4.133	3.910	3.728
150	6.326	5.783	5.423	5.089	4.570	4.231	3.981	3.780
200	6.826	6.168	5.725	5.426	5.229	4.805	4.402	3.901
250	7.379	6.707	5.914	5.733	5.435	5.164	4.761	4.015
300	7.916	7.141	6.310	6.023	5.770	5.389	5.067	4.284
350	8.412	7.581	6.684	6.289	6.018	5.462	5.175	4.282
400	8.896	7.981	7.027	6.595	6.206	5.824	5.324	4.721
450	9.337	8.372	7.346	6.870	6.447	5.973	5.424	5.039
500	9.771	8.690	7.668	7.107	6.716	6.091	5.617	5.103

Table 10. Table of Caution/Warning/Serious (EL. m) in Yeosu City Hall (50 year frequency storm)

Rainfall (mm)	A.H.H.W.L. + 50-yr frequency storm							
	Duration (min)							
	30	60	120	180	240	360	540	720
10	4.085	3.675	3.522	3.462	3.427	3.390	3.360	3.335
30	5.279	5.030	4.617	4.549	4.434	4.300	4.263	3.448
50	5.416	5.075	4.518	4.703	4.445	4.337	4.149	4.181
70	5.666	5.305	4.681	4.709	4.555	4.343	4.232	4.188
90	5.797	5.440	4.969	4.561	4.565	4.404	4.388	4.332
110	5.976	5.619	5.133	4.734	4.600	4.452	4.400	4.197
130	6.175	5.737	5.384	4.942	4.626	4.505	4.403	4.142
150	6.398	5.905	5.467	5.183	4.732	4.532	4.416	4.406
200	6.879	6.331	5.782	5.495	5.401	4.974	4.433	4.420
250	7.406	6.779	6.145	5.822	5.553	5.367	4.949	4.441
300	7.934	7.176	6.513	6.084	5.856	5.461	5.181	4.526
350	8.438	7.624	6.848	6.335	6.141	5.698	5.379	4.585
400	8.912	8.026	7.164	6.695	6.346	5.917	5.441	4.936
450	9.366	8.401	7.441	6.938	6.579	6.128	5.612	5.150
500	9.781	8.755	7.747	7.193	6.802	6.253	5.795	5.265

Table 11. The Number of Cells by Alerting Criteria in Yeondeung-River

Criteria of Inundation Alert (The Number / The ratio to All Scenarios)	Boundary Conditions					
	Freefall	A.H.H.W.L.	10-years frequency Storm	30-years frequency Storm	50-years frequency Storm	100-years frequency Storm
Safe	28 / 23%	28 / 23%	0 / 0%	0 / 0%	0 / 0%	0 / 0%
Caution	0 / 0%	0 / 0%	13 / 11%	7 / 6%	7 / 6%	7 / 6%
Warning	22 / 18%	22 / 18%	31 / 26%	32 / 27%	14 / 12%	6 / 5%
Serious	70 / 58%	70 / 58%	76 / 63%	81 / 68%	99 / 83%	107 / 89%

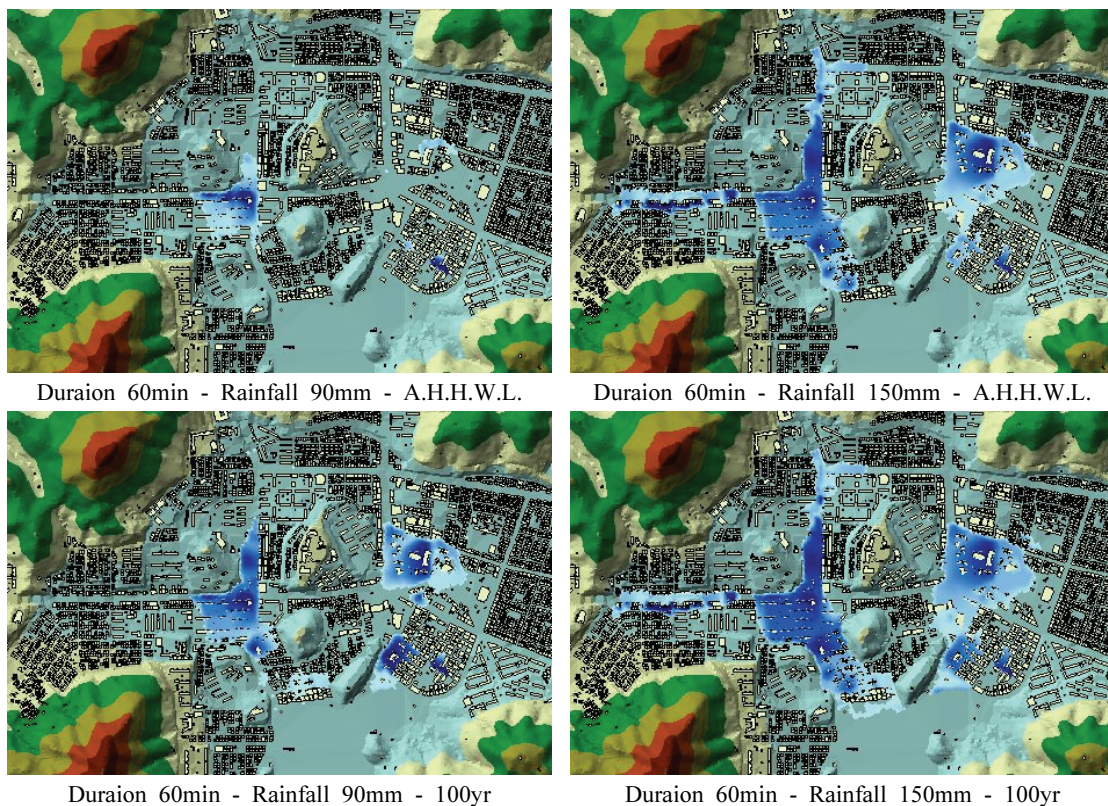


Fig. 8. Flood Map of Yeosu City Hall

50년 빈도의 폭풍해일고가 적용되기 전까지는 60% 정도의 시나리오에서 월류가 발생하고 있으나 50년 빈도 폭풍해일고가 적용된 후에는 80%이상의 대부분의 시나리오에서 월류가 발생하듯이 점진적으로 발령 기준이 상향됨을 알 수 있었다. 이에 연등천 지역이 여수시청 지역보다 낮은 해수위 상승고에도 높은 홍수 예경보 발령기준이 필요하며 해수위 상승에 의한 영향을 더 많이 받음을 알 수 있었다. 이처럼 같은 여수시에 위치하고 있는 지역이라도 지역적 특성에 따라 홍수 예경보 발령기준은 해수위 상승에 더 영향을 받을 수 있고, 강우조건에 더 영향을 받을 수 있다. 따라서 연안도시의 홍수 예경보를 위해서는 지역을 세분화하여 그 지역별 예경보 기준을 개별로 구축할 필요가 있다.

또한 추후 연구를 통해 기준표의 각 시나리오의 침수심과 시나리오에 따른 침수면적의 상관관계 분석을 통해서 각 지역의 복합원인에 따른 영향을 분석하여 그 신뢰도를 높이 고자 한다.

따라서 최종적으로 연안도시 지역의 복합원인을 고려한 홍수 예경보 기준으로 침수 방지 대책 설정 시 의사결정에 도움을 줄 수 있는 체계를 구축하고자 한다.

감사의 글

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

References

MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs). (2012). *Method of design flood calculation*.
 Park, H.G., Choi, H.I., and Jee, H.K. (2009). Flood Forecasting by using Distributed Models with Ensemble Kalman Filter, Korea Water Resources Association,

Conference, p.27.
 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.
 Shin, H.S., Park, Y.W., and Hong, I.P. (2007). The study on the development of flood prediction and warning system at ungaged coastal urban area: On-Cheon stream in Busan. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 40, No. 6, pp. 447-458.
 Shim, J.B. (2011). *Development of flow nomograph for the flood forecasting and warning in Cheong-Gye stream*. Master's thesis, Sejong University.
 Song, Y.H., Song, Y.S., Park, M.J., and Lee, J.H. (2014). Flood forecasting estimation methodology of standard rainfall for urban mid and small rivers considering upper- and down-stream water levels. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 14, No. 2, pp. 289-298.
 Song, Y.H., Park, M.J., and Lee, J.H. (2015). Preliminary feasibility study on alert standard rainfall for urban mid and small rivers. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 15, No. 1, pp. 315-326.
 Yesuo City. (2015). *A comprehensive plan for storm and flood damage reduction*.

Received	October 28, 2018
Revised	November 23, 2018
Accepted	November 28, 2018