연안도시 지역의 방재성능목표 설정 및 개선방안 고찰

An Analytical Study of the Problems and a Plan for Improving of Disaster Prevention Performance in Coastal Cities

최경민* · 이정호** · 함대현*** · 박윤경**** · 송양호*****

Choi, Gyungmin*, Lee, Jungho**, Ham, Daeheon***, Park, Yoonkyung****, and Song, Yang Ho*****

Abstract

The phenomenon and impact of abnormal weather caused by climate change is not limited domestically, and the frequency and magnitude of natural disasters are increasing. In Korea, heavy rainfall has occurred, and sea level rise is accelerating. This falls under domestic urban disasters, which cause severe damage due to multiple floods in the coastal cities. In this study, the risk of disaster in the coastal cities was examined using XP-SWMM. In order to tackle the risk of flooding due to sea level rise, we examined whether the performance targets for the prevention of disasters were appropriate. Performance targets for the prevention of disasters and various scenarios of sea level rise were applied to the urban drainage system in Changwon City, where flood damage had occurred due to sea level rise. In spite of the freefall conditions for the currently set performance targets for the prevention of disasters, it was confirmed that there is a greater risk of flooding due to sea level rise. The results of this study show the spatial variation of flood risk due to sea level change near the coastal cities. Furthermore, these results can be used as reference data for establishing countermeasures to tackle related disasters.

Key words : Climate Change, Heavy Rainfall, Coastal City, Urban Sewer, XP-SWMM

요 지

기후변화로 인한 이상기후 현상은 비단 국내에 국한되지 않고 전 세계적으로 나타나고 있으며 이로 인한 자연재해의 발생빈도와 크기가 증가하고 있다. 국내에서는 집중호우와 해수면 수위의 상승이 가속화 되어 기존의 도심지 내수재해 발생 유형과 맞물려 연안도시 지역에 복합적인 침수피해를 초래하고 있다. 본 연구에서는 XP-SWMM 모형을 이용하여 연안도시 지역의 재해발생 위험성을 고찰하고 해수면 상승에 따른 침수위험을 사전에 대비하기 위한 방재성능목표의 적정성을 검토하였다. 해수면 상승에 따른 침수피해가 발생했던 창원시 일대 우수관망을 대상으로 방재성능목표와 해수면 상승시나리오를 적용하였다. 현재 설정된 방재성능목표에 대한 자연유출 조건에서도 일부 침수에 노출되어 있음을 확인하였으며 해수위 상승에 따른 침수위험도가 증가하는 것을 확인하였다. 본 연구를 통해 제시한 결과들은 연안도시 인근의 해수면 변화에 따른 침수위험도를 시공간적인 변화 양상으로 살펴볼 수 있으며 나아가 관련 치수대책 수립시 참고자료로 활용이 가능하다.

핵심용어 : 기후변화, 집중호우, 연안도시, 우수관거, XP-SWMM

*정회원, 국립한밭대학교 건설환경공학과 석사과정(E-mail: withckm@gmail.com)

Member, Master Course Student, Department of Civil & Environmental Engineering, Hanbat National University

**정회원, 국립한밭대학교 건설환경공학과 교수(E-mail: leejh@hanbat.ac.kr)

Member, Professor, Department of Civil & Environmental Engineering, Hanbat National University

***정회원, 서울과학기술대학교 건설기술연구소 선임연구원(E-mail: daecheon80@naver.com)

Member, Senior Researcher, Institute of Construction Technology, Seoul National University of Science and Technology

****정회원, 한국건설기술연구원 국토보전연구본부 도시물순환연구센터 박사후연구원(E-mail: parkyoonkyung@kict.re.kr)

Member, Postdoctoral Fellow, Department of Land, Water & Environment Research Urban Water Cycle Research Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT)

*****교신저자, 정회원, 국립한밭대학교 건설환경공학과 연구교수(E-mail: syho@daum.net)

Corresponding Author, Member, Research Professor, Department of Civil & Environmental Engineering, Hanbat National University

1. 서론

전 지구적인 기후변화의 영향으로 빙하감소, 가뭄·사막화 등 기후에 민감한 환경·생태계의 변화가 가속화되고 있다(UN, 2014). 기후변화에 따른 수자원의 극단적인 변화는 이미 전 세계에 걸쳐 관찰되었다(IPCC, 2014). 관련 연구동향을 살펴보면 증발산량의 변화에 따른 강우-유출의 비선형성 문제, 지역별 강우의 초과발생빈도와 양적 증가 및 이에 따른 하천홍수량 증가에 따른 범람 우려에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 최근에는 시설물들의 설계연한을 상회하는 강우 발생에 따른 침투유출량의 증가로 홍수발생의 위험성을 사전에 인식하고 대비책을 수립해야 한다는 의견들이 제시되고 있다(Cifrodelli et al., 2015; Akter et al., 2018; Fadhel et al., 2018; Chu et al., 2019; Verstraten et al., 2019).

더불어 기후변화의 영향으로 인한 극한 호우사상의 발생과 해수면 상승의 문제는 해안가에 위치한 도시지역의 홍수 위험도 증가에 직접적으로 기인한다. 많은 인구가 거주하는 연안지역의 미래 해수면 상승에 대한 전망을 국가 정책에 반드시 반영해야 한다(Cha et al., 2016; Park et al., 2018). 육지와 해양의 경계부인 연안은 가장 심각하게 영향을 미칠 것으로 판단된다. 특성상 인구 및 산업 시설이 집중되어 있어 사회경제적으로 수송, 산업시설, 자원, 관광 등 인간과 밀접한 관계가 있는 곳이기 때문이다. 그러므로 미래에 해수면이 어느 정도까지 상승할 것인가에 대한 예측은 연안재해 대응을 위한 시작점이라 할 수 있다(Joo, 2015). 해수면 상승은 자연생태계 및 사회경제적으로 주요한 연안에 다양한 영향을 주며 그 결과 수자원을 포함한 사회전반의 인프라에 악영향을 미칠 것으로 예상된다. 연안의 경우 기후변화로 인한 강수 및 태풍의 강도와 빈도 변화에도 영향을 받기 때문에 기후변화에 취약한 지대로 인식되고 있다(Cho and Maeng, 2007; Kim et al., 2019). 저지대에 위치한 해안가 지역의 경우 해수위 상승과 더불어 집중호우 두 가지의 문제점을 함께 고려하여 침수발생의 위험에 대비해야 한다(Jones et al., 2013; Roberts et al., 2017). 결과적으로 연안도시 지역의 특성을 고려한 강우-유출 분석을 수행하고 이를 바탕으로 지역별 방재성능목표 강우량(Disaster Prevention Performance Target Rainfall)을 설정하고 지역별 침수계획을 수립해야 할 필요성이 있다.

최근 기후변화의 영향을 고려한 도시지역의 방재성능목표를 평가하고 대응방안을 마련하는 연구가 진행되고 있으며 해수면 상승을 고려한 연안지역의 침수위험 평가와 관련된 연구들도 진행되고 있다. Hong et al. (2013)은 부산 영도 일대를 대상으로 CAD를 이용한 해수면 상승 시뮬레이션을 실시하였으며 과를 바탕으로 침수범위와 재해위험지역을 종합적으로 고려하여 피해 예상지역을 제시하는 방법론을 제안하였다. Ahn (2014)은 기수립된 방재성능목표

강우량의 강우지속기간의 적정성을 판단하고자 강우-유출모형을 이용하여 강우지속기간과 임계지속기간의 최대유출량을 비교하였다. Kim (2016)은 도시방재성능 목표를 적용하여 침수원인 분석을 수행하였으며 관거의 개량 및 유역 특성을 고려한 방수로 신설 등의 저감대책의 필요성을 제안하였다. Lee et al. (2016)은 도시의 내수침수 문제는 내륙도시보다 하천이나 바다에 인접한 연안도시에서 더 큰 피해가 발생하고 있음을 주장하였으며 해수면 상승에 따른 침수능력의 저하의 문제를 고려하고 방재성능목표 강우량 설정에 대한 연계분석을 제안하였다. Jeong et al. (2017)은 기존 방재성능목표 강우량 산정 기준에 있어 도시 지역별 특성을 고려한 가중치 적용의 필요성을 제안하였으며 이를 고려한 목표 강우량을 산정하고 기존 자료들과의 비교-검토를 수행하였다. Ko et al. (2018)은 방재성능목표 강우량을 설정하는 방법에 있어 산악지역 및 섬에 의한 강우 특성은 반영하지 못하고 있음을 지적하며 지역적 특성을 고려한 강우 분석을 수행하였다. Park et al. (2018)은 방재성능목표를 설정함에 있어 강우의 크기 변화만을 다루고 있는 면과 달리 복합원인으로 발생하는 연안도시의 지역적 특성을 반영해야 함을 제안하였으며 지속시간별 침수발생의 확장성을 검토하였다.

선행 연구들은 기후변화를 고려한 지역별 재해발생 위험성을 고찰하고 사전에 대비하기 위한 지역적 특성별 방재성능목표를 검토하였다. 다만 지역의 기후특성, 미래여건 변화 등을 고려하고 면(面)적 개념의 공간 단위에서 분담할 수 있는 목표강우량 설정이라는 취지에 부합하기 위해서는 내륙에 위치한 도시지역과 더불어 하천이나 해수위 영향에 직접적인 영향을 받는 연안지역에 대한 다양한 결과들이 도출되어야만 한다.

본 연구에서는 육지와 해양의 경계부에 위치한 연안도시 지역이 가장 심각한 영향권역이라 판단하고 해수면 상승의 위험을 부담한 조건에서 설정된 목표강우량의 적절성을 검토하고자 한다. 기 설정된 방재성능목표 강우량과 해수면 상승의 조합을 토대로 연안도시 지역에 미치는 영향을 검토하고 보완이 필요한 부분에 대한 당위성을 제시하고자 한다. 먼저, 해수면 상승에 따른 실제 침수피해를 겪은 연안도시를 조사하고 대표 지역을 선정하여 강우-유출 모델을 구축하였다. 다음은 해당 지역에 수립된 방재성능목표와 향후 발생가능한 해수면 상승시나리오를 구성하고 이들을 조합한 침수 해석을 수행하였다.

2. 연구방법

도시지역의 우수관망을 고려한 내수모의와 하천을 고려한 외수모의의 경우 강우-유출해석 모델을 구축하여 강우-유량-수위 관계를 도출하는 것이 일반적이다. 연안도시 지역의 경우 해수면 상승시 침수에 노출된 범위가 광범위하게 발달

하기 때문에 기존의 방법론을 동일하게 적용하는 경우 도출된 결과의 신뢰도가 낮을 것으로 판단된다. 해수위 상승에 따른 침수발달의 범위를 구분하여 살펴보고 현재 고려하고자 하는 방재성능목표에 대한 의미를 살펴보아야 한다. 본 연구에서는 해안가에 위치한 주요 연안지역을 대상으로 해수위 상승을 고려한 해석 모델을 구축하고 모의된 결과들을 침수예상도로 도출함으로써 해수위 변화에 대한 기수립된 방재성능목표의 적정성을 검토하고자 한다.

2.1 적용대상 유역 검토 및 강우-유출해석 모델 구축

본 연구에서는 과거 해수위 상승시 재해가 발생했던 도시지역을 검토하였으며 이들 중 창원시에 위치한 창원시 마산회원구에 위치한 마산자유무역지역 일대를 적용대상 유역으로 선정하였다(Fig. 1). 해당 지역은 남해의 조위의 직접적인 영향을 받는 지역을 선정하였다. 적용대상 유역은 국가산업단지의 특성상 대규모 산업시설이 밀집되어 있으며 인구유동 및 물류·배송을 위한 유동차량이 많은 특성을 갖는다. 산업단지 내 침수발생시 산업시설 및 토지의 피해에 따른 경제적 피해에 그치지 않고 환경 및 안전사고와 같은 2차 피해로 확산될 우려가 있다. 이처럼 기후변화를 고려하지 못하고 현행 기준으로 산업단지의 배수시설 계획을 수립·유지할 경우, 연안도시 지역에 위치한 산업단지는 해수면 상승 및 폭풍해일고 증가와 더불어 집중호우 발생시 침수, 범람이 불가피할 것이다.

Fig. 1. Watershed and Sewer Network of Study Area

적용대상 유역은 남해의 직접적인 조위영향 구간에 속하며 해수면 상승시 침수발생의 위험에 노출되어 있는

지역으로 지난 2016년 10월 5일 태풍 ‘차바’ 내습 당시와 2018년 8월 12일에 해안가 일대의 침수가 발생한 사례가 있다. 더욱이 강우가 발생하지 않은 상황에서도 단지 해수면 상승에 따른 침수피해가 발생하고 있는 상황에서 홍수 재해를 예방하기 대비책이 강구되어야 한다. 분석을 위해 창원시 마산회원구 양덕·봉암동에 걸쳐 약 232 ha에 대해 XP-SWMM 모형을 이용하여 강우-유출해석 모델을 수립하였다. 보다 자세한 적용유역의 특성은 Table 1을 통해 확인할 수 있다.

Table 1. Watershed Properties of Study Area

Category	Specification
Address	Yangdeok/Bongam-dong, Masanhoewon-gu, Changwon-si, Gyeongsangnam-do, Korea
Area	232 ha
Number of nodes/links	85/76 EA
Number of outlets	10 EA
Watershed direction	The Southern Sea of Korea

2.2 해수면 상승 및 방재성능목표 강우량을 고려한 분석 시나리오 수립

행정안전부에서는 ‘미래 기후변화 영향을 고려한 지역별 방재성능목표 설정·운영 기준(MOIS, 2017)’을 통해 지역별 방재성능목표를 제시하였다. 해당 목표는 기후변화와 도시화로 인해 심화되는 도시지역의 침수피해를 예방하기 위해 지자체별로 정한 시간당 처리 가능한 강우량의 크기를 의미하며, 각 지자체는 목표에 맞춰 배수시스템을 개선해야 한다고 규정하고 있다. 그러나 현행 방재성능목표 강우량의 경우 기후변화에 따른 해수위 상승에 대한 위험성을 고려하고 있지 않다. 연안도시와 같은 지역적 특성이 일반 내륙지역과 상이한 경우에는 방재성능목표의 본래의 취지에 부합하도록 강우량 설정에 있어 해수위 상승에 대한 관계가 고려되어야만 한다.

본 연구에서는 창원시의 방재성능목표 강우량과 Park et al. (2018)이 도출한 창원시 일대의 빈도별 해수면 상승 및 폭풍해일고를 조합한 시나리오를 설정하고 분석을 수행하였다. Fig. 2는 창원시 일대의 방재성능목표 강우량을 가리킨다. 해당 강우량을 바탕으로 Huff 3분위법(Huff's Quartile Method)을 적용하여 시간적 분포를 고려하였다. Fig. 3은 창원시 일대 해안가의 해수면 상승을 고려한 약최고조위(Approximately Highest High Water Level, A.H.H.W.L)와 빈도별 폭풍해일고이며 해당 자료를 바탕으로 분석을 위한 외수위 조건으로 적용하였다(Table 2). Zone A~C의 경우 분석대상 지역 내 10개의 방류구의 위치별로 구분·적용한 해수위 경계조건을 나열하였다(Table 3).

Table 2. Probable Rainfall of 30-year Frequency in Changwon

Duration	Probable Rainfall (mm)
1-hr	88.3
2-hr	131.0
3-hr	153.5

Table 3. The Rising Sea Level of Changwon Coast (Park et al., 2018)

Area		A.H.H.W.L	10-yr frequency storm	30-yr frequency storm	50-yr frequency storm	100-yr frequency storm
Yangdeok · Bongam district	Zone A	0.98	2.26	2.87	3.19	3.63
	Zone B	0.98	2.23	2.84	3.14	3.58
	Zone C	0.98	2.23	2.84	3.15	3.58

3. 연구결과

대상 유역에서의 분석을 위한 XP-SWMM 모형 구축시 수리계산서를 바탕으로 초기 모형을 구축하고 빈도별 설계 강우를 적용하여 관로유출 및 수위변동성을 모의하였다. 이 과정에서 모형 매개변수의 보정을 통하여 개별 관거에 명시된 유출량 값의 검증과정을 거쳐 모델을 완성하였다.

기존의 설계빈도 토대로 자연방류 조건을 고려한 경우 연구대상 지역에 홍수는 발생하지 않았다. 따라서 강우량 자료만 사용하여 연안도시 지역의 방재성능목표를 결정하고 홍수위험도를 산출하는 것은 과소평가 될 가능성이 존재한다. 유역 내 전체 방류토구가 해안가로 향하여 조위의 직접적인 영향을 받을 것으로 사료된다. 실제 해수위 증가에

따른 배수위 조건을 반영된 결과 자연방류 조건과 달리 침수의 발생 및 확장이 두드러지게 나타났다. 결과들을 Tables 4~6과 Figs. 2~4에 나열하였다.

Tables 4~6은 방재성능목표 강우의 지속시간별 해수위 상승조건에 대한 분석결과이다. 먼저 Table 4의 1시간에 대한 결과를 살펴보면 자연방류 조건에서도 5개의 절점에서 약 10 ha의 침수면적이 발생하였음을 확인할 수 있다. Tables 5, 6의 자연방류 조건에서도 동일하게 침수가 발생하는 것을 확인할 수 있고 해안가에 위치한 간선관거를 제외한 상류의 일부 지선관거에서 침수가 발생하는 결과를 비추어볼 때 연구대상 지역은 설계 강우사상에 대한 적정 통수능을 확보하고는 있지만 방재성능목표에 대해서는 충족하지 못하는 것으로 사료된다.

Table 4. Comparison of Overflow Results for Sea Level Conditions (Duration 1-hr)

Results	Duration					
	1-hr					
	Freefall	A.H.H.W.L	10-yr	30-yr	50-yr	100-yr
Number of flooding node (EA)	5	19	20	20	20	20
Overflow volume (m ³)	24,564	31,787	65,386	208,979	224,076	225,462
Flooding area (ha)	10.219	12.354	20.062	42.592	44.008	45.399
Maximum flooding depth (m)	2.58	2.58	2.90	2.95	2.95	2.95

Table 5. Comparison of Overflow Results for Sea Level Conditions (Duration 2-hr)

Results	Duration					
	2-hr					
	Freefall	A.H.H.W.L	10-yr	30-yr	50-yr	100-yr
Number of flooding node (EA)	4	19	20	22	23	23
Overflow volume (m ³)	32,699	39,711	76,860	236,969	257,966	260,315
Flooding area (ha)	10.007	12.233	22.167	47.674	49.441	49.441
Maximum flooding depth (m)	4.08	4.10	4.61	4.67	4.67	4.67

Table 6. Comparison of Overflow Results for Sea Level Conditions (Duration 3-hr)

Results	Duration					
	3-hr					
	Freefall	A.H.H.W.L	10-yr	30-yr	50-yr	100-yr
Number of flooding node (EA)	4	19	20	23	23	23
Overflow volume (m ³)	32,713	39,680	79,244	248,456	276,059	279,488
Flooding area (ha)	9.039	11.435	22.058	49.416	51.510	51.510
Maximum flooding depth (m)	4.21	4.22	4.80	4.88	4.88	4.88

해수면이 약최고고조위부터 10년빈도 폭풍해일고까지 약 0.98~2.87 m가 상승하는 조건에 대한 결과들을 살펴보면 기존 자연방류 조건에서 발생했던 최대침수심은 대체적으로 유사한 결과로 나타났다. 그러나 침수면적과 월류발생량이 크게 증가하는 경향이 나타났다. 결과의 경향성은 2, 3시간의 조건에 대해서도 동일하게 나타났다. 지난 2016년 10월 18일 당시의 창원시 해수위와 유사한 약 30년빈도 이상의 폭풍해일고의 경우 지속시간에 관계없이 침수발생 결과가 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 해수면과 강우량의 관계없이 해수면 상승에 따른 분석대상 지역의 침수위험도에 노출되어 있음을 가리킨다. Lee et al. (2016)은 이러한 현상을 고려하여 연안도시 지역에

대한 방재성능목표 강우량이 약 30% 정도 낮아져야 함을 제안하였다. 그러나 본 연구에서의 결과들을 비추어 볼 때 Lee et al. (2016)이 제안한 내용 이상의 목표치에 대한 검토과정을 통해 연안도시 지역들에 대한 근본적인 침수위험성을 저감방안이 마련되어야 한다.

본 연구에서는 기 설정된 방재성능목표 강우량이 연안도시 지역의 해수위 상승을 고려하였을 때 실제 적절한지 판단하기 위한 개략적인 분석을 수행하였다. 도출된 결과는 미흡한 목표설정에 따른 실제 유역이 갖는 재해위험성이 매우 크다는 것을 의식하게 할 수 있으며 보다 효과적인 관리목표를 설정할 필요가 있다. Tables 4~6에 대한 모의 결과를 다음의 Figs. 2~4에 나타내었다.

Fig. 2. Comparison of Flooding Results for Sea Level Conditions (Duration 1-hr)

Fig. 3. Comparison of Flooding Results for Sea Level Conditions (Duration 2-hr)

Fig. 4. Comparison of Flooding Results for Sea Level Conditions (Duration 3-hr)

4. 결 론

최근 기존의 방재성능목표 이상의 초과강우사상이 빈번히 발생하여 침수에 대한 위험도가 증가하고 있다. 이상기후 현상에 대비하고자 기후변화 시나리오에 따라 지역별 특성에 따른 강우량의 변동을 면밀히 살펴볼 필요가 있다. 더불어 해수면 상승으로 인한 침수위험도를 함께 고려함으로써 연안도시 지역의 특성을 고려할 필요가 있다. 본 연구에서는 XP-SWMM 모형을 활용하여 경상남도 창원시 마산회원구 양덕·봉암동 일대에 향후 발생가능한 해수면 상승시나리오를 고려한 분석을 진행하였다. 피해특성을 검토하는 방법으로는 기 설정된 방재성능목표 강우량과 해수면 상승시나리오를 조합하여 분석하였으며 침수범람도 작성에 따른 복합특성별 홍수 발생유형을 검토하였다. 분석 결과 해수면의 상승을 고려하지 않은 경우보다 해수면의 상승을 고려한 경우 침수면적이 크게 증가한다는 결과를 확인하였다. 더불어 특정 해수위 상승고 이상에서는 기 설정된 방재성능목표 강우량이 관리목표에 도달하지 못함을 확인하였다. 결국 지역별 방재성능목표는 기후변화와 도시화로 인해 침수피해를 예방하기 위한 목표 강우량의 취지에 맞게 지역별 특성을 고려해야한다. 나아가 지역별 목표에 상응하는 배수시스템의 개선이 함께 검토되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 스마트시티 혁신성장동력 프로젝트 지원으로 수행되었음(과제번호 19NSPS-B154314-02).

References

- Ahn, T.J. (2014). A study on applicability of the duration of target rainfall for achievement of regional disaster prevention performance. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 14, No. 6, pp. 213-219.
- Akter, T., Quevauviller, P., Eisenreich, S.J., and Vaes, G. (2018). Impacts of climate and land use changes on flood risk management for the Schijn River, Belgium. *Environmental Science and Policy*, Vol. 89, pp. 163-175.
- Cha, W.Y., Choi, J.H., Lee, O.J., and Kim, S.D. (2016). Probabilistic analysis of sea level rise in Korean major coastal regions under RCP 8.5 climate change scenario. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 16, No. 6, pp. 389-396.
- Cho, K., and Maeng, J.H. (2007). Some thoughts on direction to cope with the sea level rise in Korea. *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*, Vol. 10, No. 4, pp. 227-234.
- Chu, H., Wei, J., Qiu, J., Li, Q., and Wang, G. (2019). Identification of the impact of climate change and human activities on rainfall-runoff relationship variation in the Three-River Headwaters region. *Ecological Indicators*, Vol. 106, 105516. doi:10.1016/j.ecolind.2019.105516
- Cifrodelli, M., Corradini, C., Morbidelli, R., Saltalippi, C., and Flammini, A. (2015). The influence of climate change on heavy rainfalls in Central Italy. *Procedia Earth and Planetary Science*, Vol. 15, pp. 694-701.
- Fadhel, S., Rico-Ramirez, M.A., and Han, D. (2018). Sensitivity of peak flow to the change of rainfall temporal pattern due to warmer climate. *Journal of Hydrology*, Vol. 560, pp. 546-559.
- Hong, S.K., Kang, Y.H., and Lee, H.S. (2013). A study on flooding prevention scheme due to sea level rise at Young-do coast in Busan. *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 37, No. 4, pp. 409-418.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate change 2014: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge Univ. Press.
- Jeong, M.S., Oak, Y.S., Lee, Y.K., Lee, Y.S., Park, M.R., and Lee, C.H. (2017). Estimation of disaster prevention target rainfall according to urban disaster prevention performance. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 18, No. 4, pp. 101-110.
- Jones, D.K., Zou, Q., and Reeve, D.E. (2013). Computational modelling of coastal flooding caused by combined surge overflow and wave overtopping on embankments. *Journal of Flood Risk Management*, Vol. 6, No. 2, pp. 70-84.
- Joo, Y.M. (2015). *Effects of sea level rise on the Mokpo coastal zone*. Master's thesis, Mokpo National University, Korea.
- Kim, J.S. (2016). Analysis of inundation causes in urban area based on application of prevention performance objectives. *Journal of Wetlands Research*, Vol. 18,

- No. 1, pp. 16-23.
- Kim, M.S., Yoon, H.S., and Kim, K.H. (2019). A comparative study of long-term sea-level changes along the Busan coast due to climate change. *Journal of Fisheries and Marine Science Education*, Vol. 31, No. 1, pp. 83-93.
- Ko, J.S., Ryu, G.H., and Jang, J.K. (2018). A study on improvement of target setting criteria for disaster prevention performance in Jeju Island, *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 3, pp. 373-380.
- Lee, N.E., Heo, J.R., Kal, B.S., and Park, J.B. (2016). A study on establishment method of prevention capacity target against disasters considering sea level rise. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 16, No. 2, pp. 523-527.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (2017). *Establishment of disaster prevention performance targets by region considering future climate change set and operating standards*.
- United Nations (UN). (2014). *World urbanization prospects*. Department of Economic and Social Affairs, United Nation, New York.
- Park, Y.K., Kim, S.D., Lee, J.H., and Song, Y.H. (2018). Relationship analysis of sea level-rainfall for determination of disaster prevention performance in coastal cities. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 7, pp. 469-474.
- Roberts, K.J., Colle, B.A., and Korfe, N. (2017). Impact of simulated twenty-first-century changes in extratropical cyclones on coastal flooding at the battery, New York City. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 56, No. 2, pp. 415-432.
- Verstraten, L., Wasko, C., Ashford, G., and Sharma, A. (2019). Sensitivity of Australian roof drainage structures to design rainfall variability and climatic change. *Building and Environment*, Vol. 161, 106230. doi:10.1016/j.buildenv.2019.106230

Received ■ October 22, 2019

Revised ■ October 23, 2019

Accepted ■ November 1, 2019