

Pilot Application of Flood Management Techniques for Urban Planning in Smart Cities Around Rivers

- The Case of Busan Eco Delta Smart City -

Bo Ram Kim[#], Chan Hee Lee, Ou Bae Sim⁺

US (Urban Safety), Inc, #B-1714, 282, Hagui-ro, Dongan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do, Korea

Abstract

Considering the recent trend of climate change and increased flood risk from urbanization, it is necessary to prepare for floods when developing a riverside city. Both of the national pilot smart cities in South Korea are located along the river, but the flood management technique based on the characteristics of smart city remain insufficient. This study presented flood management techniques for smart cities around rivers from urban planning perspective through the analysis of characteristics of domestic and foreign smart cities and applied the technique to the Busan Eco Delta Smart City as a pilot study. The study results confirmed the feasibility of the technique in smart city development in consideration of flood risk, which would help towards an effective and efficient flood reduction planning. Although the applicability of the technique in land use and building projects has been confirmed in this study, further review would be needed for the creation of housing complex and building adaptation.

Key words: urban planning, flood management techniques, smart city, riverside city

1. 서론

1. 연구 배경 및 필요성

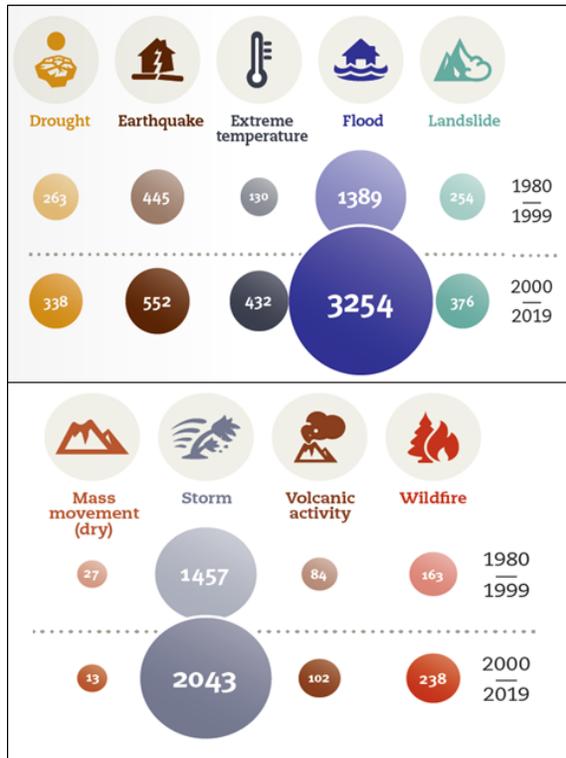
전 세계적으로 기후변화로 인한 이상기후가 빈번하게 발생하고 있으며, 극한강우, 계절간 강수량 및 기온차이 등의 이상기후 현상은 앞으로 더욱 증가할 것으로 예측된다. CRED & UNDRR(2020)에 따르면 최근 20년(2000년 - 2019년)동안 재해 피해규모는 홍수, 가뭄, 태풍, 지진 순으로 높게 나타났고, 재해 발생의

90%이상이 기후의 영향을 받는 것으로 나타났다. 특히, 재해 발생빈도는 최근 20년과 이전 20년(1980년 - 1999년) 모두 재해 중 홍수와 태풍의 빈도가 가장 높게 나타났으며, 최근 20년과 이전 20년의 수치를 비교해 보면 홍수는 2.3배, 태풍은 1.4배 증가하여 앞으로 기후 영향으로 인한 재해발생은 계속 증가할 것으로 보인다(<Figure 1>).

우리나라의 기후변화는 전 세계 추세보다 빠르게 진행되고 있으며 홍수와 태풍 발생도 증가추세다. 행

[#] The 1st author: Bo Ram Kim, Tel. +82-31-689-3168, Fax. +82-31-689-3170, e-mail. boram5743@naver.com

⁺ Corresponding author: Ou Bae Sim, Tel. +82-31-689-3167, e-mail. obsim@naver.com



※ Source: CRED & UNDRR(2020: 7).

Figure 1. Total disaster events by type: 1980-1999 vs. 2000-2019

정안전부(MOIS, 2019)의 통계에 따르면 2000년에서 2018년까지 대규모 홍수피해 현황은 <Table 1>과 같고 최대일강우량이 300mm를 넘는 경우가 10회 발생하였다. 2002년 태풍 루사로 인해 강릉에는 최대일강우량이 870.0mm의 폭우가 쏟아졌고, 2018년에는 대규모 태풍과 집중호우가 4차례나 발생하였다.

통계에서도 알 수 있듯이 우리나라의 홍수피해는 주로 집중호우와 태풍으로 인한 국지성호우로 발생한다. 홍수는 호우의 강도, 지속시간 및 지역적 특성에 따라 하천홍수(river flood), 도시홍수(urban flood), 돌발홍수(flash flood), 해안홍수(coastal flood) 4가지 유형으로 구분된다. 하천홍수는 태풍 또는 집중호우에 의한 하천범람으로 강을 따라 발생하는 홍수이고, 도시홍수는 도시화에 따라 불투수지역의 증가로 침투 홍수량의 증가, 홍수 도달시간의 단축, 도시 내수배제 불량 등으로 인해 발생하는 홍수이다. 해안홍수는 태풍 및 지진 등으로 인해 육지로 밀려오는 바닷물의 영향으로 발생하고, 돌발홍수는 경사가 심한 산악지역 소

Table 1. Current status of massive flood damage(2000~2018)

Disaster	Period	Maximum daily rainfall(mm)
Typhoon "Frapirun" and concentration rainfall	2000.8.23~9.1	645
Typhoon "Rusa"	2002.8.30~9.1	870
Typhoon "Megi"	2004.8.17~8.20	323
Heavy rain	2005.8.2~8.11	382
Typhoon "Ewinia"	2006.7.9~7.29	265
Typhoon "Nari"	2007.9.13	300
Heavy rain	2011.7.26~7.29	450
Typhoon "Bolaben" and "Denbin"	2012.8.25~8.30	244
Typhoon "Shinba"	2012.9.15~9.17	405
Heavy rain	2013.7.11~7.15,7.18	459
Heavy rain	2013.7.22~7.23	353
Heavy rain	2014.8.25	248
Typhoon "Chiba"	2016.10.3~10.6	220
Heavy rain	2017.7.14~7.16	290
Typhoon "Praparun"	2018.6.26~7.4	112
Typhoon "Solic"	2018.8.23~8.24	152
Heavy rain	2018.8.26~9.1	97
Typhoon "Konglei"	2018.10.4~10.7	310

※ Source: MOIS(2019).

유역에 단시간의 집중호우로 산사태, 토석류 등을 발생시키는 홍수로 정의된다(Mywater homepage). 최근 도시지역에 다양한 개발이 이루어지면서 설계 강우를 초과하는 집중호우로 도시홍수가 발생하고 있고, 특히 전방 등을 이유로 하천변 도시개발에 따라 하천홍수 위험도 함께 증가하고 있다(Sim, 2006; Sim & Choe, 2012; Son, et. al., 2013). 하천변 도시개발에 따른 홍수 위험의 증가를 보여주는 사례로 서울시의 경우, 도시화에 따라 불투수면적 비율은 1962년 7.8%에서 2010년 47.7%으로 약 6배 증가하고, 표면유출량은 같은 기간동안 10.6%에서 51.9%로 약 5배가 늘었다는 연구결과가 있다(Seoul Metropolitan Government, 2013).

전 세계 기후변화 추세와 도시화로 인한 홍수위험 영향을 고려할 때 하천변 도시개발 시에 예상치 폭우로 인한 홍수에 대비해야 한다. 이러한 측면에서 정부에서 추진 중인 스마트시티 국가 시범도시 또한 하천변에 새롭게 조성되는 계획도시로 홍수관리기법이 반

드시 필요하다. 따라서 본 연구에서는 선행연구(Kim, et. al., 2020)를 통해 개발한 ‘스마트시티 도시계획적 홍수관리기법’을 부산 에코델타 스마트시티 개발계획에 적용하여 기법의 적용성을 검증하고 홍수관리 측면에서 개발계획의 보완 및 개선사항을 제시하고자 한다.

2. 연구절차

연구는 하천주변 스마트시티 사업특성을 고려한 도시계획적 홍수관리기법 개발하고, 적용 대상지역을 분석하여 기법을 적용한 후 개발계획 상 홍수관리 측면의 보완 또는 개선사항 제시하는 순으로 진행하였다(<Figure 2>).

하천주변 스마트시티 도시계획적 홍수관리기법은 스마트도시 개념을 조사하고 홍수위험/영향을 분석하였으며, 국내 선진 정책/법·제도와 국외 선진 사례를 검토하여 개발하였다. 적용 대상지역인 부산 에코델타시티 개발계획(K-water, 2015)에 제시된 사항을 기준으로 토지이용, 기반시설 등을 분석하여 기법을 적용하였다. 기법적용을 위해 대상지역의 잠재홍수위험도 분석을 실시하여 홍수위험지역을 구분하였으며, 홍수위험지역 구분에 따른 홍수관리기법을 적용하였다. 적용 결과 개발계획 상 홍수관리 측면의 보완 및 개선사항을 제시하였다.

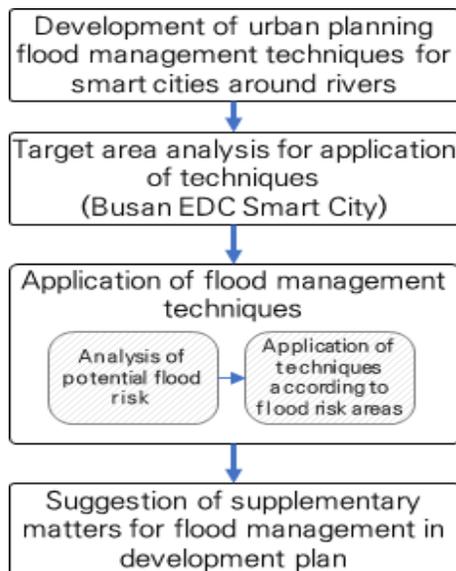


Figure 2. Research flow

II. 하천주변 스마트시티 도시계획적

홍수관리기법

스마트시티 도시계획적 홍수관리기법은 스마트도시의 개념과 스마트시티 국가시범도시를 대상으로 홍수위험 및 영향을 분석을 실시하고, 국토교통부, 행정안전부, 환경부의 홍수관련 기준 및 지침과 국외 선진 사례 검토결과를 종합하여 기법을 도출하였다. 도출된 기법은 전문가 설문조사를 통해 보완 하였고, 최종적으로 토지이용, 기반시설, 주택단지, 건축물 4개 계획영역에 대하여 총 35개의 기법을 개발하였다. 하천주변 스마트시티 도시계획적 홍수관리기법은 <Table 2>와 같다. 토지이용과 건축물은 계획요소로 세분화되며, 토지이용의 계획요소는 용도지역, 기반시설 배치, 공공시설 배치, 완충지대이고, 기반시설의 계획요소는 도로, 보도, 광장, 학교, 공공청사, 주차장, 우수시설 및 저류시설, 공원 및 녹지로 구분된다. 기반시설 계획요소 중 도로, 보도, 광장, 주차장은 스마트 도시 기반시설 연계된 분야이다(Kim, et. al., 2020).

기법별로 홍수위험 높음, 보통, 낮음으로 구분하여 적용가능하거나 적용이 필요한 범위를 제시하였다. 홍수위험은 홍수위험도 평가를 통해 도출되는 잠재홍수위험도로 구분된다. 토지이용은 홍수위험도 평가를 통한 잠재홍수위험도 구분과 용도지역, 기반시설 배치, 공공시설 배치, 완충지대에 대한 기법이 제시되었다. 기반시설은 계획·설계 단계에서 홍수위험을 저감하기 위한 기술 및 기법이 적용되는 시설과 스마트시티 조성단계에서 스마트기술(IoT, ICT 등)이 접목되는 시설로 도로, 광장, 학교, 공공청사, 주차장, 우수시설 및 저류시설, 공원 및 녹지에 대한 기법을 개발하였다. 주택단지는 스마트시티 관련 기준·지침에서 도출한 적용요소와 안전한 단지조성을 위한 용도 지정 등을 고려하여 총 4개의 도시계획적 홍수관리기법을 도출하였다. 건축물은 주로 잠재홍수위험도가 높은 지역에 경우 지반고 또는 설비의 높이, 건축물 설치 구조 등에 대해 4개의 기법을 도출되었다.

Table 2. Urban planning flood management technique of smart city around river

Division		Applicati on Area*	Urban planning flood management technique
Land use	Flood risk assessment	-	Classification of potential flood risk areas through flood risk assessment (Low, Middle, High)
	Purpose of development	H	Restricting the use of residential, commercial, industrial, etc. development in areas with high potential flood risk
	Infrastructure installation layout	L	Electricity supply facility, gas supply facility, heat supply facility, oil storage facility, and oil supply facility are installed in areas with low potential flood risk
		L	Important facilities(public government buildings, city halls, fire stations, police stations, medical facilities, etc.) are installed in areas with low potential flood risk
	Installation of public facilities layout	L	Apartment houses, residential complexes, etc.
		M	Business facilities(urban support facilities, R&D facilities, etc.), commercial facilities, cultural welfare facilities, etc.
Open space	H	Creating open spaces(city parks, public areas, neighborhood parks, green areas, etc.) along the river	
Infra struct ure	Road	H	Install trenches to prevent rainwater from flowing into nearby low-lying residential areas
		H	Sensors to maintain the smart city function are installed higher than the expected flood level(Autonomous driving sensor)
		H,M,L	Avoid installing penetration facilities as sinkholes may occur on roads and near roads.
	Sidewalk	M,L	Planting trees or plants with the height of the planting surface equal to or lower than the floor level of the sidewalk
		M,L	Sidewalk paved permeable
		H	Sensors to maintain the smart city function are installed higher than the expected flood level(Smart bike holder)
	Square	M,L	For the square, install permeable pavement, trenches, or penetration ditches.
		M,L	Planting trees or plants with the height of the planting surface equal to or lower than the floor level of the sidewalk
		H	Sensors to maintain the smart city function are installed higher than the expected flood level(Smart bike holder)
		H	Install trenches to prevent rainwater from flowing into nearby low-lying residential areas
	School	M,L	Install parking lot or landscaping facilities with disaster prevention function in school
		H	Install trenches to prevent rainwater from flowing into nearby low-lying residential areas
	Public building	L	Install parking lot or landscaping facilities with disaster prevention function in public building
	Parking lot	M,L	For the parking lot, install permeable pavement, trenches, or penetration ditches.
		H	Sensors to maintain the smart city function are installed higher than the expected flood leve
Running water and storage facilities	H	Running water facilities are installed along rivers or in lowlands	
	M,L	Storage facilities are installed upstream of areas with high flood risk	
Park and green area	H,M,L	Storage facilities in the park are planned to be less than 50% of the total area.	
	M,L	Park is permeable pavement	
Housing complex	H	The height of the complex is set higher than the level of flooding by rainfall based on the disaster prevention performance target	
	H,M,L	Install parking lot or landscaping facilities with disaster prevention function in housig complex	
	H,M,L	Restriction of hilly development and preservation of slopes within the complex	
	H	Create a open space around the river and place the parking lot in the direction of the river	
Building	H	The height of the living room floor of the building and the facilities within the building is set higher than the level of flooding by rainfall based on the disaster prevention performance target.	
	L,H	The ground height is installed higher than the adjacent road	
	H	In areas with high risk of potential flooding, the installation of underground floors is restricted or installed in piloti structures.	
	H	For public buildings around rivers, the basement of the building is used as a reservoir	

*H : flood risk assessment high, M : flood risk assessment middle, L : flood risk assessment low

※ Source: Kim, *et. al.*(2020).

III. 시범적용

1. 시범적용 절차

개발된 기법을 대상지역에 적용하는 단계는 크게 잠재홍수위험도 연계, 내수위험 연계로 구분하고 세부적으로는 4단계로 구분하였다. 시범적용 절차는 <Figure 3>과 같다.

1단계는 토지이용 전략을 적용하는 단계로서 홍수 위험도평가(외수)를 통해 잠재홍수 위험구역을 높음, 보통, 낮음 3단계 구역으로 구분하여 기법을 적용한다. 2, 3, 4단계는 내수위험과 연계하여 기반시설 활용기법, 주택단지 조성기법, 건축물 적용기법을 적용한다.

2단계는 하천 홍수위를 고려한 내수위험을 분석을 실시하고 침수지역 및 침수위 산정을 통해 기반시설/주택단지/건축물 기법에 활용한다. 내수위험 분석에는 200년 빈도 강우를 적용하였다. 이는 내수위험 분석 시 적용되는 일반적인 강우보다 높은 빈도의 강우이며, 적용 필요성은 다음과 같다. 첫째, EDC 상업용지의 78%가 집중된 유동인구 밀집지역이며, 둘째, 도시활성화를 위한 특별계획구역(3개소) 입지로 안정성 증대 필요, 셋째, 200년 빈도적용으로 실효적인 재해 안전성을 확보한 핵심 중심상업도시 조성이 필요하기 때문이다. 3단계는 방재성능목표 기준강우량에 의한

침수위와 단지 조성 높이를 비교하고, 내수위험과 연계한 주택단지 조성기법을 적용한다. 4단계는 방재성능목표 기준강우량에 의한 침수위와 거실용도 높이를 비교하고, 내수위험과 연계한 건축물 적용기법을 적용한다.

2. 대상지역 특성 및 개발계획 분석

1) 대상지역 특성

기법 적용 대상지역인 부산 에코델타시티는 부산의 산업과 경제 활성화를 목적으로 2012년부터 2018년까지 부산광역시 강서구 명지도, 강동동, 대저2동 일원에 면적 118.9km²부지에 조성된 계획도시다. 부산 에코델타시티는 삼면이 서낙동강, 평강천, 맥도강으로 둘러싸여 있으며 친수구역으로 조성되었다(Smart City Korea, 2018). 부산 에코델타시티의 중심지역인 세물머리에 위치한 약 2.2km² 면적 부지에 부산 에코델타 스마트시티가 국가 시범도시로 추진중이며, 이 지역을 본 연구의 시범적용 대상지역으로 선정하였다.

부산 에코델타 스마트시티의 지형적 특성은 서낙동강, 맥도강, 평강천 3개의 자연하천 주변지역이고, 대상지역을 평강천이 관통하고 있어 홍수재해와 매우 밀접하다고 볼 수 있다. 대상지역은 실시설계를 위한 구역 구분에 따라 1단계 3공구(1-3), 2단계 3공구(2-3),

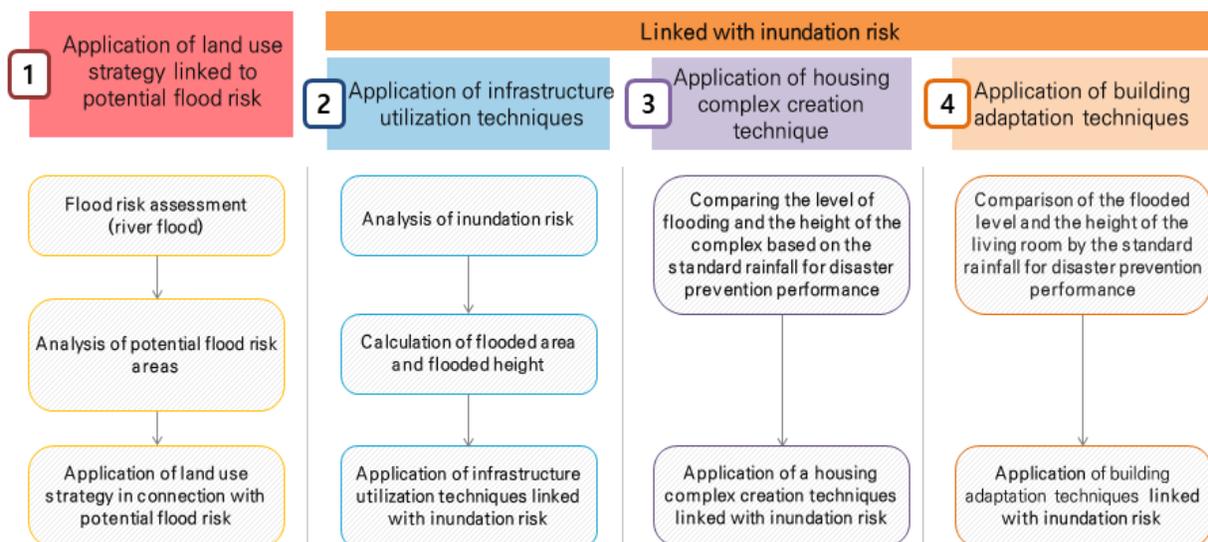


Figure 3. Pilot application flow

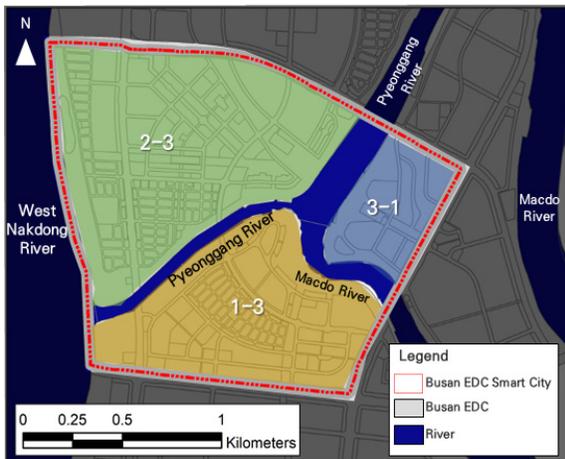


Figure 4. Location map of the target area

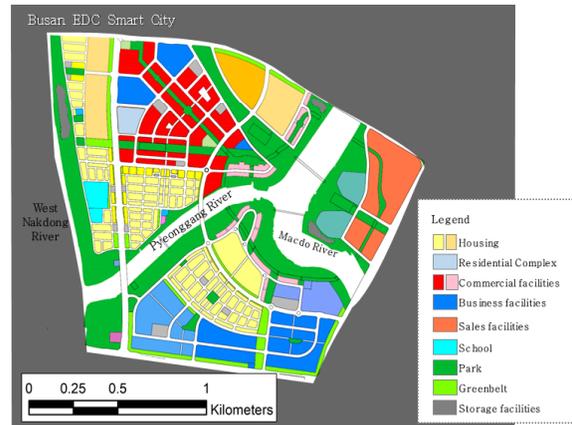
3단계 1공구(3-1)가 포함되며, 위치는 <Figure 4>와 같다. 3개 공구가 모두 하천과 인접하게 위치해있으며, 2-3공구의 경우, 좌측에는 서낙동강과 우측에는 평강천이 흐르고 있어 본 연구에서 도출된 도시계획적 홍수관리기법을 적용하기에 적합한 지역이다.

부산 에코델타 스마트시티는 3단계의 도시조성 계획을 수립하였으며, 1단계(2021~2022년)에는 주택단지, 학교, R&D 연구단지를 조성한다. 2단계(2023~2024년)에는 상업시설과 에너지 주택단지를 조성하고, 마지막 3단계로(2025년 이후) 문화 상업시설과 로봇 클러스터 등 특화공간을 조성하는 계획을 수립하였다(K-water, 2016).

부산 에코델타 스마트시티는 도시에 최첨단 스마트기술이 적용되는 미래형도시로, 스마트도로, 자율주행차, 물류이송로봇, 도로관리로봇 등 다양한 곳에 스마트기술이 도입 예정이다. 이러한 스마트 기능이 포함된 시설이나 설비는 홍수로 인한 침수피해가 발생하면 운영이 불가하거나 센서 오작동, 전기시설 고장 등이 발생할 수 있으므로 스마트도입 기능에 대한 홍수관리도 필요하다.

2) 개발계획 분석

적용대상 지역의 토지이용, 기반시설, 주택단지, 건축물 계획을 통해 배치, 규모(차선 등), 스마트기능, 방재기능(LID 등)을 검토하였다. 부산 에코델타시티 실



※ Source: Smart City Korea(2018).

Figure 5. Land use plan

시설계획보고서(K-water, 2015)에 제시된 사항을 중심으로 분석하였다.

먼저 대상지역 내 토지이용은 주거시설(단독주택, 공동주택), 상업시설(주상복합, 판매시설), 업무시설, 공원·녹지 등이 포함되어 있다(<Figure 5>). 서낙동강과 평강천, 맥도강 주변에 완충공간으로 녹지가 조성되며, 완충공간 내에 저류지가 3곳 배치되어있다. 2-3공구의 경우 다양한 토지이용을 보이고 있으며, 하천변과 가까운 곳에 주로 주거시설이 위치하고, 일부 상업시설과 업무시설이 배치되며, 대상지역 중심에 상업지역이 배치되어 있다. 3-1공구의 토지이용은 공원, 판매시설이 배치되며, 1-3공구에는 평강천과 맥도강이 가까운 곳에 주거시설이 배치되고, 상업시설과 업무시설이 하천과 가까운 곳부터 먼 곳까지 많은 부분을 차지한다.

전체적으로 사업대상지 중심을 관통하는 평강천과 맥도강 주변에 완충공간으로 공원이 조성되며, 공원 뒤쪽으로는 주택이 배치되고, 업무·상업시설 등이 계획되어 있다.

기반시설 계획은 일반적으로 도시계획시 홍수위험 저감을 위한 기술이 도입되는 시설과 스마트시티에 스마트서비스를 제공하는 건축물이나 시설을 중심으로 분석하였다. 대상지역에는 도로, 보도, 학교, 저류시설(저류지), 광장, 공원, 주차장, 영유아보육시설, 공공시설, 오수중계펌프장 등이 계획되어 있다(<Figure

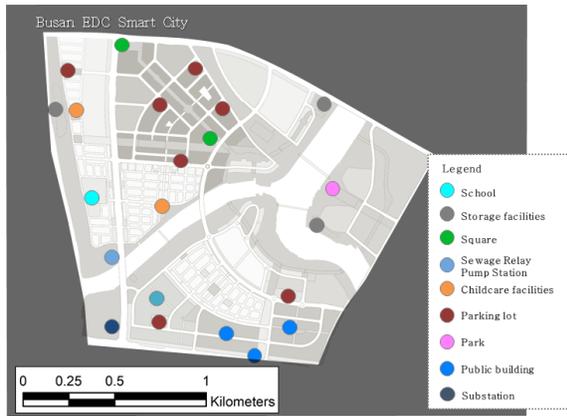


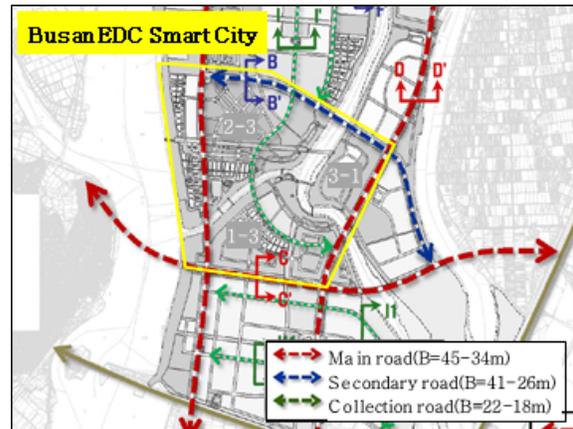
Figure 6. Facility techniques plan

6>). 2-3공구에는 하천변에 저류시설 2곳이 있고, 주차장은 상업지역, 주택지역에 집중되어 있다. 학교와 영유아보육시설은 완충공간은 마련되어 있지만, 하천과 비교적 가까운 곳에 위치해 있다. 3-1공구에는 저류시설 1곳과 수변공원이 조성되며, 1-3공구에는 항만청과 119센터가 포함된 공공시설이 하천변과 비교적 떨어진 곳에 있고, 주차장이 곳곳에 배치되어 있으며 변전소가 서낙동강과 가까운 곳에 위치해 있다.

다음으로 기반시설별 계획과 도입 예정인 스마트기능을 검토하였다.

도로는 대상지 외곽에 주간선도로(광로)가 배치되고 보조간선도로(대로)가 대상지를 가로지르며, 집산도로(중로)와 국지도로(소로)가 대상지역내에 전체적으로 배치되어 있다(<Figure 7>). 도로는 보도, 자전거도로, 차도, 녹지로 구분되며, 일부 주간선도로의 중앙에 녹지 분리대가 있다.

도로구간이 고농도 비점오염원 구간인 것을 고려하여 LID 시설을 도로에 집중 배치되며 홍수보다는 초기우수처리를 위한 수질에 집중되었다. 도로구간은 우수받이 저면을 통해 초기우수가 빗물터널/박스를 통해 지하로 침투될 수 있도록 계획되었고, 일부 도로에는 투수성포장계획이 포함되어 있다. 도로에 도입되는 스마트기능 중 교통서비스 시설계획으로는 스마트 교차로, 스마트 횡단보도, 지능형 교통시스템, 싱크홀 예방시스템 등이 있으며, 스마트 횡단보도, 싱크홀 예방시스템에 설치되는 센서는 낮게 설치하거나 파손



※ Source: K-water(2015).

Figure 7. Road plan

또는 유지관리 미흡시 침수에 대한 영향 가능성이 우려된다.

보도는 대상지역 전체에 계획되어 있으며, 노면에 투수성포장 계획에 따라 주거지구(주택단지 및 보행자도로)와 상업지역(보행자전용도로)에 투수블럭이 설치된다. 보도에 도입 예정인 스마트기능은 스마트자전거거치대, 스마트횡단보도 등이 있다.

광장은 2-3공구에 2곳이 있으며 2곳 모두 하천변으로부터 완충지대를 두고 배치되어 있다. 학교는 2-3공구에 1곳으로 서낙동강에 인접하게 위치해 있으며, 공공청사는 1-3공구에 119센터 1곳과 넓은 면적의 항만청이 배치되어 있다. 주차장은 주거시설, 상업시설, 공공시설 등 시설 내부에 배치되어 있으며, 저류시설은 총 3곳으로 2-3공구와 3-1공구 하천변에 위치해 있다.

광장, 학교, 공공청사, 주차장, 저류시설은 개발계획상 위치 및 면적만 표시되어 있고, 시설에 대한 자세한 설계 내용은 없다.

공원은 3-1공구에 수변공원이 조성 예정이다. 공원은 스마트랜드파크로 다양한 스마트기능이 도입된다. 면적 200㎡의 스마트 리빙랩 센터가 설립되고, 공원내 공공와이파이가 제공되며 수질측정기를 통해 수질 정보가 실시간 제공되는 스마트 음수대와 스마트기술이 포함된 태양광파고라 등의 스마트기능이 도입된다.

주택단지 및 건축물 계획은 건물에 대한 위치정보만 확인되고, 세부 설계내용은 없다. 2-3공구에 위치한

일반상업시설 및 주상복합시설은 모두 지하 2층으로 계획되어 있고, 3-1공구는 생태수로변에 유통판매시설인 아울렛의 부지 계획이 있다.

방재계획은 부산 에코델타 전지역에 대해 홍수재해 저감계획으로 서낙동강, 평강천, 맥도강 변의 200년 빈도 홍수위와 여유고를 감안한 계획고를 조성하는 방안을 제시하였다. 대상지역 또한 200년 빈도를 고려한 단지계획고 상향과 영구저류지 규모 확대 계획이 있다.

다음으로 내수위험과 연계한 기법적용을 위해 대상지역의 우수관망계획을 분석하였다(<Figure 8>). 2-3공구에는 평강천 방향으로 3개의 방류부가 있고 서낙동강으로는 방류부가 없다. 3-1공구는 2개의 방류부가 맥도강 방향으로 있고 1-3공구에는 세물머리쪽으로 1개의 방류부가 있으며 영구저류지를 거쳐 하천으로 방류된다.

대상지역의 개발계획 분석 결과, 계획 수준을 고려하였을 때 외수위험과 연계한 토지이용 전략 적용, 내수위험과 연계한 기반시설 활용기법 적용, 주택단지 조성기법 적용, 건축물 적용기법 적용 4 단계 중 토지이용 전략 적용과 기반시설 활용기법이 적용가능하다. 주택단지와 건축물 기법 적용을 위하여 세부적인 주택단지 조성계획 및 건축물 설계계획이 필요하다. 따라서 대상지역에 대한 외수위험분석과 내수위험분석을 실시하고, 내수위험과 연계한 기반시설 중심으로 기법을 적용하였다.



Figure 8. Sewer network plan

로 기법을 적용하였다.

3. 외수 및 내수 위험분석

먼저, 홍수위험도평가(외수)는 부산 에코델타 스마트시티 내 하천 계획홍수위 조사·분석, 지형자료 조사·분석, 부산 에코델타 스마트시티 홍수위험도 평가 순으로 실시하였다. 먼저 하천계획홍수위는 서낙동강 하천기본계획 보고서(MOLIT, 2012)를 통해 하천별 지점별 계획홍수위를 파악하였다. 대상지역 내 하천별 지점수는 서낙동강 8개, 평강천 13개, 맥도강 5개로 나타났다. 지형자료는 수치표고모델(DEM)(국토지리정보원, 격자간격 5m, 남한) DB를 활용하여 GIS 분석틀을 통해 표고, 경사도를 분석하였다. 대상지의 수치표고모델(DEM) 분석 결과, 고저차가 없는 평지지형이고, 대상지 내 표고분석 결과, 전 지역이 표고 50m 이하의 평지지형이며, 대부분의 지형이 0.4~4.0m의 저지대인 것으로 나타났다. 대상지 내 경사도분석 결과, 전지역이 경사도 5% 이내의 완경사지로 산지와 구릉이 없는 것으로 분석되었다.

GIS 분석틀을 활용한 홍수위험도평가(외수) 절차는 하천차수 정의(물의 흐름 계산), 평가대상구역 설정, 하천별 지점별 계획홍수위 입력, 저지대 분석을 위한 GIS 분석구역 설정, 계획홍수위 이하 저지대 위험구역 분석 순서이다. GIS 입력자료는 DEM, 하천별 계획홍수위이다. 하천차수는 가장 상위의 하천이 1차수 하천으로 정의되며, 같은 차수의 하천이 만날 때 차수가 증가하는 방식으로 물의 흐름을 계산한다. 평가대상구역은 대상지역과 동일하게 설정하며, 앞서 하천기본계획 보고서에서 파악한 하천별 지점별 계획홍수위를 GIS 상 포인트 자료에 입력하고, 하천으로부터 DEM 상 주변 셀로부터 가장 낮은 고도값을 가진 셀의 방향으로 물의 흐름을 보내게 되면, 계획홍수위 이하 저지대구역이 도출된다.

외수위험 분석결과 대상지역의 잠재홍수위험도는 전지역이 낮음으로 나타났고, 토지이용 또한 적절한 것으로 판단된다. 잠재홍수위험도가 전지역 낮음으로

나타나게 된 이유는 대상지역이 부산 에코델타 스마트시티 국가시범도시를 서낙동강, 맥도강, 평강천 계획홍수위에 여유고를 감안한 도로 및 단지계획고를 수립하여 재해에 안전한 단지가 되도록 설계하였기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 대상지역은 전지역의 외수위험이 낮기때문에 외수위험을 고려한 토지이용을 적용하기 어렵다.

다음으로 내수위험분석은 부산 에코델타시티 실시설계보고서(K-water, 2015)에 제시된 내수침수지역과 200년 빈도 강우에 따른 관망수위 분석결과를 활용하여 최종 내수위험지역을 설정하였다. 내수위험 분석에 LID 등 홍수량 저감요소를 배제하고, 최종 하천 방류부의 수위만을 비교한 이유는 다음과 같다. 홍수위험을 저감할 수 있는 도로변 LID 설치계획이 있지만 국토교통부에서는 썩크홀을 우려하여 도로에 침투형 LID 시설 설치를 지양하고 있으며, 하천변에 침투시설은 지하수위에 의해 효과가 미미할 수 있기 때문이다. 200년 빈도에 따른 관망수위 분석은 우수계획도와 우수종단면도를 활용하여 관저고, 관로직경, 계획홍수위 분석을 통해 내수침수 가능성을 검토하였다. 내수위험은 방류부의 관저고, 계획홍수위, 관로직경을 통해, 관로와 200년 빈도의 계획홍수위의 비율(%)을 산정하였으며, 비율이 높을수록 홍수발생시 방류가 원활히 이루어지지 않아 내수위험이 높다고 판단하였다. EDC가 위치한 부산에서는 집중호우와 만조시간이 겹쳐 도시 내 맨홀 역류, 침수피해 등의 호우피해 사례(20년 7월 부산 동래구 온천천 침수피해 등)가 빈번하게 발생하였다. 같은 집중호우 상황에서도 만조시간 여부에 따라 계획홍수위-관망수위 비율이 높은 경우에는 호우에 따른 역류, 침수피해 가능성이 높아질 수 있다. 본 연구에서는 도시 침수 현상의 원인이 될 수 있는 강우-관망수위 분석을 통해 내수위험 분석을 실시하였다. 최종적으로 내수위험지역은 침수지역 인근에 위치한 방류부를 일련의 범위로 설정하였다.

내수위험지역 설정을 위한 계획홍수위-관로수위 분석결과는 <Figure 9>와 같다. 2-3공구의 우수계획도

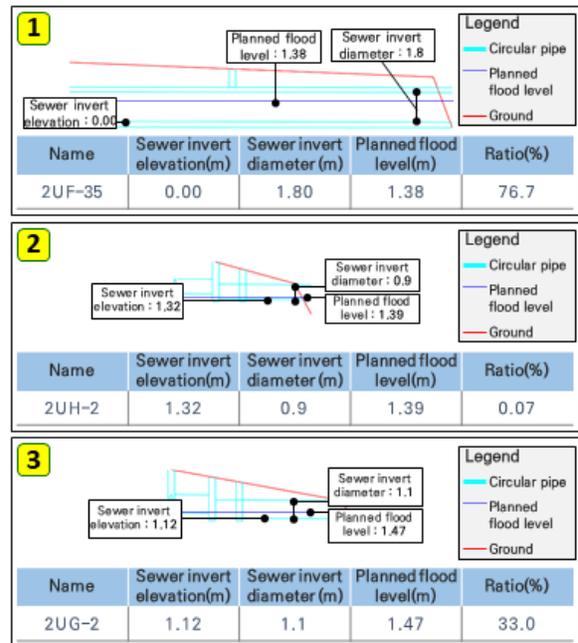


Figure 9. Stormwater drainage plans cross-sectional analysis

에 표시된 방류부는 평강천을 따라 3곳이 있고, 서낙동강 방향으로는 방류부가 없는 것으로 파악된다. 방류부 주변의 우수원형관로와 우수Box관로, 맨홀이 분포되어 있다. 1번 방류부(2UF-35)의 경우 관저고는 0m, 계획홍수위는 1.38m, 관로직경은 1.8m로, 계획홍수위가 관로수위의 76.7%로 분석된다. 2번 방류부(2UH-2)의 관저고는 1.32m, 관로직경은 0.9m, 계획홍수위는 1.39m로 관로-계획홍수위의 비율은 0.07%이다. 3번 방류부(2UG-2)는 관저고 1.12m, 관로직경 1.1m, 계획홍수위의 1.47m로 계획홍수위가 관로수위의 33%로 나타났다(<Figure 8>). 1번과 3번 방류부의 관로-계획홍수위 비율은 76.7%, 33%로 하수관거 축소 효과로 200년 빈도 강우시 내수침수 가능성 있다고 판단된다.

3-1공구는 맥도강 방향으로 2개의 방류부가 있다. 2-3공구와 마찬가지로 방류부별로 관로와 200년 빈도의 계획홍수위의 비율(%)을 산정하여, 200년 빈도 강우시 내수침수 가능성 있다고 판단하였다. 1-3공구는 방류부 인근에 저류지가 계획되어 있어 하천수위가 올라가 관로를 따라 하천수가 역류하더라도 저류지의 수위가 높아지게 되고 맨홀로 우수가 역류할 확률이 낮으므로, 관로-계획홍수위 비율과 상관없이 내수 위

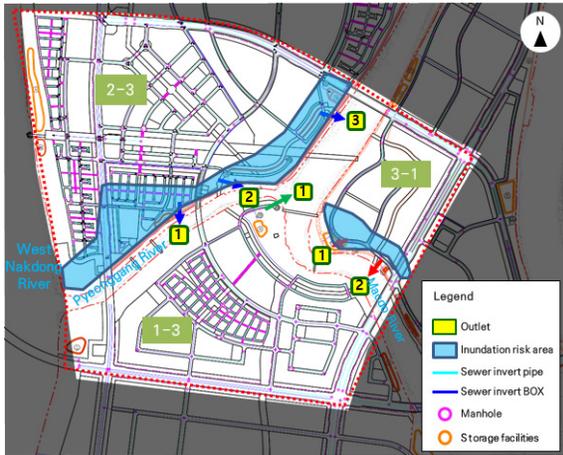


Figure 10. Analysis of inundation risk area

험이 낮다고 판단하였다.

실시설계보고서의 내수침수지역과 관망수위 분석 결과를 통해 도출된 최종 내수위험지역은 <Figure 10>과 같다. 내수위험지역은 2-3공구에 평강천을 따라, 3-1공구에 맥도강변을 따라 설정되었다.

4. 기반시설 중심의 기법적용 결과

내수위험과 연계한 기반시설 활용기법 적용을 위해 내수위험지역과 기반시설계획을 중첩하여 <Figure 11>과 같이 제시하였다. 대상지역에는 도로, 보도, 광장, 학교, 주차장, 저류시설, 공원 및 녹지 등의 기반시설이 배치되어 있다. 내수위험 높음 지역에 계획된 시설로는 2-3공구에는 도로, 보도, 영유아보육시설, 주택, 오수중계펌프장, 상업시설, 저류시설이 있고, 3-1공구에는 도로, 보도, 수변공원(스마트 랜드마크파크), 저류시설, 상업시설이 있다.

기반시설 활용기법 적용결과, 내수위험지역에 도로는 도로 노면의 빗물이 인근 저지대로 유입되지 않도록 트렌치 등을 설치하고, 자율주행 등 스마트시티 기능을 유지하기 위한 센서는 예상 침수위보다 높게 설치하거나 방수기능을 부여할 필요가 있다. 대상지역에 도로 노면 또는 가장자리 주변은 빗물로 인해 싱크홀이 발생 될 수 있으므로 침투시설은 설치하지 않는 것이 바람직하다. 보도는 내수위험지역에 위치한 경우 스마트 자전거거치대, 스마트 횡단보도 등에 감

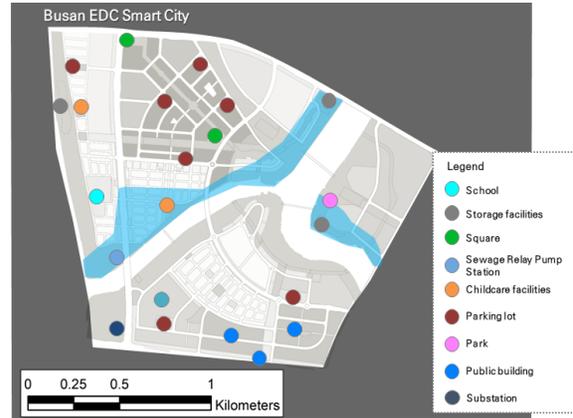


Figure 11. Overlapping inland water risk areas and facility techniques plan

지센서 등은 예상 침수위보다 높게 설치하거나 방수 기능이 포함된 제품을 활용해야한다. 광장은 내수위험 낮은 지역에 배치되어 있어 광장 내부는 투수성 포장을 하고, 광장 경계면에 침투트렌치 또는 침투도랑을 설치하여 우수저류 효과를 높일 수 있다. 또한 광장 내부에 나무나 화초 등을 식재하는 경우에는 광장의 바닥 높이와 같거나 낮게하여 조경시설로 빗물이 유입되도록 설계한다. 학교 또한 내수위험 낮음 지역에 배치되며, 학교 내부에 방재기능을 갖는 주차장, 조경시설을 설치하면 우수유출 저감이 가능할 것으로 판단된다. 또한, 내수위험 낮음 지역의 상류인 학교, 주차장, 광장 등의 기반시설에는 LID 등을 집중 배치하면 우수유출 저감 효과가 있을 것으로 보인다. 3-1공구 내수위험지역에 위치한 수변공원은 공원 내 저류시설을 설치하고, 저류시설은 총 면적의 50% 이하로 계획하는 것이 바람직하다. 특히, 내수위험 높음 지역에 영유아보육시설, 주택, 상업시설은 차수관, 지하저류조, 침투시설 등의 내수침수 방지대책이 필요하다고 판단된다.

대상지역 내 LID시설은 도로를 중심으로 계획을 수립하였으나, 도로는 싱크홀의 우려가 있으므로 침투시설보다는 저류시설을 우선 검토하고, LID는 내수위험이 낮은 상류지역에 집중 배치하여 수질 이외에 홍수저감목표 병행하고 우수유출을 저감시킬 필요가 있다. LID는 수질 개선을 목표로 설치되는 경우가 많으

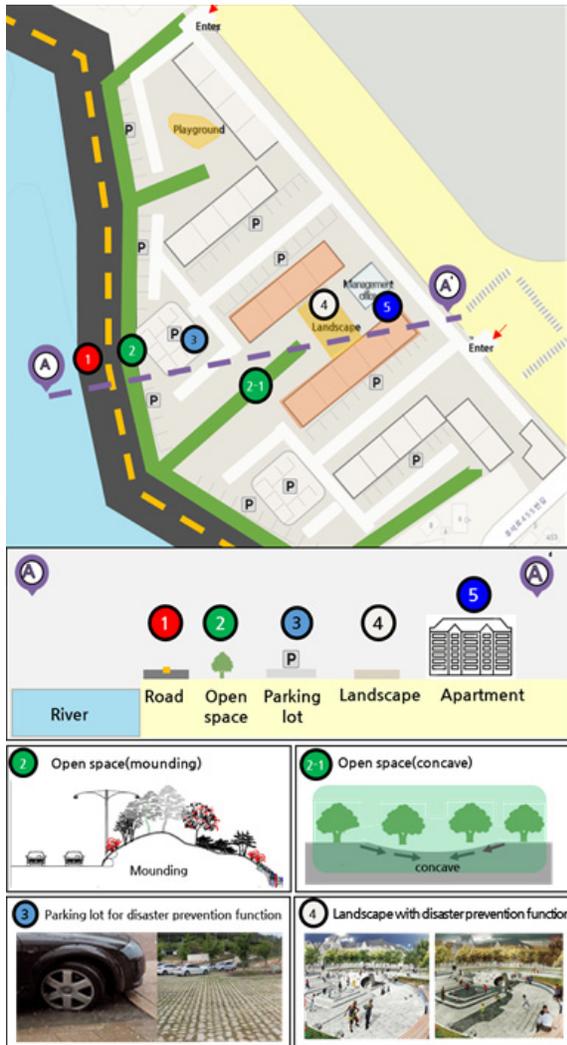


Figure 12. Conceptual diagram of application of housing complex creation technique

나, 수질 이외에 홍수저감목표를 병행하는 방안을 대상지역 전 지역에 대해 고려될 필요가 있다. 최근 국토교통부는 싱크홀을 우려하여 도로에 침투형 LID 시설 설치를 금지하고 있으며, 하천변 500m 이내 홍수관리 구역(「하천법」 제 12조 및 동법 시행령 제7조)에는 지하수위 영향을 고려하여 침투시설 설치를 지양해야 한다. 대상지역에 계획중인 빗물박스, 빗물터널은 지하에서 침투하는 방식으로, 지하수위를 고려하여 설치할 필요가 있고, 도로와 함께 조성되는 보도, 자전거도로, 녹지, 녹지분리대 등을 활용하여 투수성포장 등의 대책도 추가로 가능하다.

다만, 시설별 세부계획이 없어서 구체적인 홍수관리기법 적용에 한계가 있으며, 추후 개발계획 구체화

에 따라 광장, 학교, 청사, 주차장, 공원 등의 배치, 침투, 저류시설 설치를 제시할 수 있다.

또한, 대상지역에 대한 주택단지와 건축물 계획이 구체화 되는 경우 기법적용 절차에 따라 적용이 가능하다. 주택단지 조성기법 적용과 건축물 조성기법 적용 모두 방재성능목표 기준 강우량에 의한 침수위를 먼저 산정해야 하며, 각각 주택단지 조성 높이, 건축물 거실용도 높이와 비교한다. 다음 단계로 도출한 기법의 적정성 검토를 통해 적용한다. 주택단지 조성기법 적용에 대한 개념도는 <Figure 12>와 같다. 하천주변 또는 홍수위험도 높은 지역 내 주택단지가 조성될 경우, 하천으로부터 가까운 곳부터 도로-녹지-주차장-조경시설-아파트 순으로 배치한다. 단지조성 높이는 방재성능목표 기준 강우량 침수위보다 높게 설정하고, 하천주변으로 방재기능은 갖는 완충공간(마운딩) 및 주차장을 배치한다. 단지 내부에는 빗물을 일시적으로 저류시킬 수 있도록 오목한 조경시설 설치하며, 관리사무소, 상가, 주택단지 등 하천주변이 아닌 안전한 내륙지역에 배치한다.

IV. 결론

본 연구는 분산되어 있는 각 부처의 다양한 관련 기준 및 개발사례를 참조하여 개발한 하천주변 스마트시티 특성을 고려한 종합적인 홍수관리기법을 부산 에코델타 스마트시티에 시범적용하였다. 하천주변 스마트시티 조성을 위한 도시계획적 홍수관리기법 적용은 크게는 2단계(잠재홍수위험도 연계, 내수위험 연계)로 구분하고 세부적으로는 4단계(토지이용 전략 적용, 기반시설 활용기법 적용, 주택단지 조성기법 적용, 건축물 적용기법 적용)로 구분하여 적용하였다. 적용을 위해 대상지역의 특성과 개발계획을 분석하였고, 적용절차에 따라 외수 및 내수 위험분석을 실시하였다.

대상지역의 외수위험 분석결과, 대상지역의 잠재홍수위험도는 전 지역이 낮게 나타났고, 토지이용은

적절하다고 판단된다. 내수위험 분석을 통해 내수위험지역을 도출하였고, 기반시설 중심으로 기법을 적용하였다. 홍수관리기법은 대상지역에 배치된 기반시설인 도로, 보도, 광장, 학교, 주차장, 저류시설, 공원 및 녹지 등에 적용하여, 개발계획의 보완사항을 제시하였다. 개발계획에는 시설별 세부계획이 구체적으로 제시되어 있지 않아, 주택단지와 건축물 기법 적용 개념도를 제시하였다.

본 연구에서 개발된 하천주변 스마트시티 도시계획적 홍수관리기법은 스마트시티 조성시에 홍수위험도를 고려하여 기법 적용이 가능하다고 판단된다. 본 기법을 활용하여 향후 하천주변의 스마트시티를 개발하는 경우 홍수피해를 저감하기 위한 계획수립이 이루어 질수 있을 것으로 기대된다. 다만, 주택단지 조성 기법 및 건축물 적용기법은 상세한 개발계획 자료를 확보하여 추가적인 적용 가능성 검토가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원(과제번호 20AWMP-B121100-05)의 지원으로 수행되었음.

References

- CRED and UNDRR(The United Nations Office for Disaster Risk Reduction). 2020. Human Cost of Disasters: An Overview of The Last 20 Years 2000-2019.
- Kim, Bo Ram, Chan Hee Lee, and Ou Bae Sim. 2020. Development of Urban Planning Flood Management Techniques Considering the Characteristics of Smart City Projects around Rivers. *Crisisonomy*. 16(11): 45-59.
- K-water. 2015. Busan Eco Delta City Detailed Design Report.
- K-water. 2016. Busan Eco Delta City Master Plan.
- MOIS(Ministry of the Interior and Safety). 2019. 2018 Disaster

Yearbook.

- MOLIT(Ministry of Land, Infrastructure and Transport). 2012. West-Nakdong River Master Plan Report.
- Mywater Homepage. https://www.water.or.kr/disaster/general/flood/info.do?seq=1822&p_group_seq=1821&menu_mode=3
- Seoul Metropolitan Government. 2013. Comprehensive Plan to Create a City with Healthy Water Circulation.
- Sim, Jae-Hyeon and Seung-Yong Choe. 2012. Urban Flood Damage Analysis and Future City Flood Response Strategy. *Water for Future*. 45(7): 16-22.
- Sim, Ou Bae. 2006. How to Respond to the Large-sized Urban Flood? *Water for Future*. 39(9): 59-64.
- Smart City Korea. 2018. Busan Eco Delta Smart City Master Plan.
- Son, Min Su, Ji Young Park, and Brian H. S. Kim. 2013. Urban Environmental Risk: Evaluating Flooding Risk Indices of Seoul. *Seoul Studies*. 14(4): 127-140.

Korean References Translated from the English

- 국토교통부. 2012. 서낙동강 하천기본계획 보고서.
- 김보람, 이찬희, 심우배. 2020. 하천주변 스마트시티 사업특성을 고려한 도시계획적 홍수관리기법 개발. *한국위기관리논집*. 16(11): 45-59.
- 서울특별시. 2013. 건강한 물순환도시 조성 종합계획.
- 손민수, 박지영, 김홍석. 2013. 서울시 도시환경의 홍수 위험도 평가. *서울도시연구*. 14(4): 127-140.
- 스마트시티코리아. 2018. 부산 에코델타 스마트시티 시행계획.
- 심우배. 2006. 대형화되는 도시홍수 어떻게 대응할 것인가? *물과미래*. 39(9): 59-64.
- 심재현, 최승용. 2012. 도시홍수피해분석 및 미래도시 홍수대응 전략. *물과미래*. 45(7): 16-22.
- 한국수자원공사. 2015. 부산 에코델타시티 실시설계 보고서.
- 한국수자원공사. 2016. 부산 에코델타시티 마스터플랜.
- 행정안전부. 2019. 2018 재해연보.

Received: Nov. 5, 2020 / Revised: Dec. 7, 2020 / Accepted: Dec. 7, 2020

하천주변 스마트시티 도시계획적 홍수관리기법 시범적용

- 부산 에코델타 스마트시티 -

국문초록 최근 기후변화 추세와 도시화로 인한 홍수위험 영향을 고려할 때 하천변 도시개발시에는 폭우로 인한 홍수에 대비해야 한다. 스마트시티 국가시범도시는 2곳 모두 하천변에 위치하여 홍수위험에 대한 대비가 필요하나, 하천주변에 스마트시티 특성을 고려한 홍수관리기법은 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 스마트시티 국가시범도시 특성분석과 국내·외 사례조사 결과를 바탕으로 하천주변 스마트시티 도시계획적 홍수관리기법을 제시하고, 부산 에코델타 스마트시티에 시범적용하였다. 적용 결과 스마트시티 조성시에 홍수위험도를 고려하여 기법 적용이 가능하다고 판단되며, 본 기법을 활용하여 홍수피해를 저감하기 위한 계획수립이 이루어질 수 있을 것으로 기대된다. 다만, 토지이용과 건축물 기법은 적용가능성이 검증되었으나, 주택단지 조성기법 및 건축물 적용기법은 향후 추가 검토가 필요하다.

주제어 : 도시계획적 홍수관리기법, 스마트시티, 도시하천

Profiles **Bo Ram Kim** : She received a master graduate in the Department of Geology Engineering, Chungbuk National University. She is the Deputy General Manager of the US(Urban Safety), Inc. Her research focuses on Urban Disaster Prevention/Safety and Disaster(boram5743@naver.com).

Chan Hee Lee : He received a master graduate in the Department of Urban Engineering, Seokyeong University. He is the Department Manager of the US(Urban Safety), Inc. His research focuses on Urban Disaster Prevention/Safety and Disaster Risk/Vulnerability Assessment(best86lch@naver.com).

Ou Bae Sim : He received Ph.D. graduate in the Department of Civil Engineering, Hongik University. He is the CEO of the US(Urban Safety), Inc. His research focuses on Urban Disaster Prevention/Safety, Disaster Risk/Vulnerability Assessment and Climate Change(obsim@naver.com).