

## 관측 강우와 침수모의를 이용한 부산 에코델타시티 수해저감에 관한 연구

김윤구·김성률·전해성·추연문\*\*

부산대학교 사회환경시스템공학과

\*BK21+ 사업단

### A Study on the Flood Reduction in Eco-Delta City in Busan using Observation Rainfall and Flood Modelling

YoonKu Kim·SeongRyul Kim·HaeSeong Jeon·YeonMoon Choo\*\*

Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University, Korea

\*Brain Korea 21 Plus, Pusan National University, Korea

(Received : 30 June 2020, Revised : 28 July 2020, Accepted : 28 July 2020)

#### 요약

최근 찾아지는 이상기후와 급격한 도시화에 따른 불투수 면적의 증가는 저류량 감소로 이어져 지표유출량의 증가를 가져오게 되었다. 증가한 지표유출량은 도시하천의 범람으로 인한 침식, 수중 생태계 파괴, 도심지 내 인적 및 재산상의 피해를 유발하는 원인이 되고 있다. 최근 국내에서는 국지성 호우, 태풍, 홍수로 인해 이러한 피해가 증가하고 있다. 이에 대한 대책으로 부산광역시는 2012년부터 2023년까지 미래지향적인 수변도시 조성을 목표로 부산 에코델타시티 친수구역 조성을 진행하게 되었다. 따라서 본 논문에서는 미환경보호국에서 개발한 SWMM(Storm Water Management Model)을 활용하여, 현 도시하천 상태와 강수량 자료를 분석수집하고 홍수 피해를 모의하기 위한 목표 유역을 선정하였다. 모의된 자료를 사용하여 다양한 경우에 대한 수해저감 대책을 제시하였다. 수해저감 대책 방안에 대한 시나리오를 구축하여 각 케이스 별로 재해방지방안을 구축하는 방법이다. 30년 빈도 80분의 강우사상으로 침수모의 해석을 실시하여 구조적 방안과 비구조적 방안을 고려하였을 때, 배수문 증설보다 배수펌프장의 증설 효과가 큰 것으로 판단되며 비구조적 재해방지방안인 사전배제 방법과 결합하여 8개의 시나리오와 그에 대응하는 대안을 계획하였다. 각 대안에 대한 평가를 실시한 결과, 6안의 펌프장 증설 100m<sup>3</sup>/s와 사전배제 EL(-)1.5m가 최적대안이라고 판단되었다.

핵심용어 : 관측강우, 수해저감, 에코델타시티, 침수모의, SWMM

#### Abstract

The increase in the area of impervious water due to the recent abnormal weather conditions and rapid urbanization led to a decrease in the amount of low current, resulting in an increase in the amount of surface runoff. Increased surface runoff is causing erosion, destruction of underwater ecosystems, human and property damage in urban areas due to flooding of urban river. The damage has been increasing in Korea recently due to localized heavy rains, typhoons and floods. As a countermeasure, the Busan Metropolitan Government will proceed with the creation of the Eco-Delta City waterfront zone in Busan with the aim of creating a future-oriented waterfront city from 2012 to 2023. Therefore, the current urban river conditions and precipitation data were collected by utilizing SWMM developed by the Environment Protection Agency, and the target basin was selected to simulate flood damage. Measures to reduce flood damage in various cases were proposed using simulated data. It is a method to establish a disaster prevention plan for each case by establishing scenario for measures to reduce flood damage. Considering structural and non-structural measures by performing an analysis of the drainage door with a 30-year frequency of 80 minutes duration, the expansion effect of the drainage pump station is considered to be greater than that of the expansion of the drainage door, and 8 scenarios and corresponding alternatives were planned in combination with the pre-excluding method, which is a non-structural

\* To whom correspondence should be addressed.

Brain Korea 21 Plus, Pusan National University, Korea  
E-mail: chooyean@naver.com

• YoonKu Kim Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University, Korea / The doctor's course (kidandy@kwater.or.kr)  
• SeongRyul Kim Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University, Korea / The doctor's course (3677800@naver.com)  
• HaeSeong Jeon Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University, Korea / The doctor's course (man5020@naver.com)  
• YeonMoon Choo Brain Korea 21 Plus, Pusan National University, Korea / Contract Professor (chooyean@naver.com)

disaster prevention measure. As a result of the evaluation of each alternative, it was determined that 100m<sup>3</sup>/s of the pump station expansion and the pre-excluding EL(-)1.5m were the best alternatives.

Key words : Eco-Delta City, Flood Reduction, Inundation Simulation, Observed Rainfall, SWMM

## 1. 서 론

최근 잦아지는 이상기후로 인한 홍수와 가뭄 등의 자연재해의 빈도와 규모가 증가하여 그로 인한 피해액도 꾸준히 증가하는 추세이다(Kwon et. al. 2017; Kim et. al. 2017). 국내에서는 급격한 도시화가 진행됨에 따라 불투수 면적이 증가하고 침투 유출량 및 총 유출량이 증가하였으며 도달시간과 침투량 및 증발산이 감소하게 되었다. 이러한 상황으로 인해 짧은 시간 집중적인 국지성 호우와 태풍 등에 대하여 홍수방어시설의 수문량을 초과하는 상황의 발생으로 제내지 침수 등의 피해가 빈번히 발생하고 있는 실정이다. 특히 인구와 각종 중요시설이 밀집되어 있는 도심지의 경우 막대한 인명과 재산피해로 직결된다. 일부 하도정비나 펌프장 및 우수지 설치, 관거 정비 등의 치수방지 대책은 한계점에 도달하였다는 우려의 목소리가 나오고 있다. 그리하여 미래에 예상되는 대규모 자연재해에 대비하고 기후변화에 효율적으로 대처하기 위하여 기후변화 전망에 관한 과학적이고 일관된 정보 제공의 중요성이 대두되고 있다(Simon et. al. 2012). 부산시는 이에 대한 대책으로 2012년부터 2023년까지 부산에코델타시티 친수구역의 조성하고 있다. 따라서 본 연구는 미 환경보호청에서 개발한 SWMM (Storm Water Management Model)을 기반으로 부산 에코델타시티 친수구역의 내수침수피해를 사전 모의하고, 이에 대한 홍수저감 대책을 제시하고자 한다. 또한 본 연구결과를 활용하여 상습 침수지역의 침수분석과 홍수피해 관리방안의 기초자료로 활용하며, 침수 피해원인을 종합적으로 검토, 재해를 사전에 예방하고자 한다.

이상기후와 그에 따른 집중호우 등에 대한 내수침수 모의에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 SWMM모형은 국내 내수침수 및 도시유출 해석을 위하여 활발히 활용되고 있으며, 이를 통한 강우 우량과 물리적 유역 매개변수를 사용함으로써 강우 유출을 예측하고 있다. Sin et. al.(2005)은 HEC-RAS(Hydrologic Engineering Center River Analysis System)와 SWMM을 연계 적용하여 해안지역과 도심지역의 홍수 예·경보 시스템을 구축하였다. 그리고 Cho et. al.(2007)은 SWMM을 이용한 유역개발 전·후의 홍수량 변화 분석을 통해 실측자료가 있는 유역을 선정하여 자연하천 유역에서의 적용성 검토와 사전 수행된 재해영향평가 지역을 선정하여 선정모형의 조합별 결과를 검토하여 미계측 유역에서의 적용성을 평가하였으며, Lee and Yean(2008)은 XP-SWMM모형을 적용하여 침수심, 침수면적에 대한 침수해석을 건물의 영향을 고려하여 시간대별로 수행하였다. Shon et. al.(2010)은 부산시 대표 도시하천인 온천천을 대상유역으로 하여 SWMM모형을 구축하고 각 소유역의 대표 우수관을 선정하여 강우에 의한 도시하천 내수침수 위험 취

약성 분석을 실시하였으며, Kang and Lee(2012)는 구로 1 빗물펌프장 배수유역을 도시유역으로 설정하고, 밀양댐 배수유역을 전원유역으로 설정하여 전원유역에 대한 SWMM의 적용성을 평가하고, 유역의 유출 특성을 고려한 홍수유출모의의 필요성을 제시하였다. 또한, Lee et. al.(2013)은 지하저류조 설치 시 시설 가능 개수에 따른 도시하천저류조 최적위치 및 규모 선정을 동시에 고려할 수 있는 최적화 모형을 개발하였다. 국외에서는 Cera et. al(1996)은 플로리다의 Volusia County에 대한 Deland Ridge 유역 관리 계획에 대해 홍수 영역을 원하는 색상으로 표시하여 포장 된 도로 및 구조물과 비교할 수 있도록 제시하였고, Tsihrintzis et al.(1998)은 SWMM의 아열대 도시 유역에서의 모델 적용가능성을 테스트하기 위하여 플로리다에 있는 소규모 지역을 대상으로 유출수에 대한 시뮬레이션을 진행 하였다. Hsu et al.(2000)은 SWMM모형과 2차원 확산파 지표류 해석과의 연계를 통하여 Taipei 도시지역의 범람모의를 수행하여 도시 내의 홍수완화 조치를 수행하였다. Ashis and Seiji(2007)는 하수도 네트워크를 동시에 시뮬레이션하는 통합 모델을 제시하며, 하천 네트워크 및 2D 메쉬 네트워크를 사용하여 올바른 범람 범위를 얻을 수 있는 방법 제시하였다. Scott A. Lowe(2009)는 EPA SWMM모형을 적용하여 위성 하수도 시스템을 개발하고자 하였으며 R.A.Sharifan 등(2010)은 이란의 쉬라즈 의 중심에 위치한 분지를 고려, 도시 표면 배수 시스템의 주요 파이프 라인 맨홀에서 수심의 불확실성을 분석하였으며, F. A. Beling et al.(2011)은 브라질 남부의 도시분지를 대상으로 유출수를 평가하고 매개변수를 분석하였다. Z. L. Liao et. al.(2015)은 상하이의 하수도 시스템을 대상으로 CSO 제어솔루션을 설계하였다. 또한 S. Babaei et. al.(2018)은 이란 우르미아(Urmia) 지역의 배수 시스템의 정확성을 평가하고 PROMETHEE II 접근법과 SWMM을 사용하여 하위 유역에 우선 순위를 부여하기 위해 SWMM을 사용하여 도시부 침수의 지표 유출을 산정한다. 본 연구에서는 부산시 에코델타시티를 연구대상지로 설정하여 SWMM모형을 통한 홍수 피해 모의를 수행하고, 모의된 자료를 토대로 수해저감 대책을 제시하고자 한다.

## 2. 연구방법

본 연구에서는 부산 에코델타시티 친수구역 조성지역(강서구 명지동 ~ 대저2동)을 대상으로 홍수저감 대책 수립현황을 분석하고, 집중호우, 태풍 등 자연재해 발생 시 침수피해를 사전분석 하고자 한다. 연구 방법은 우선 대상유역인 부산시 에코델타시티의 유역 현황(하천현황, 강우자료)을 분석하고, 홍수피해 모의를 위한 모델을 선정한다. 본 연구에서는

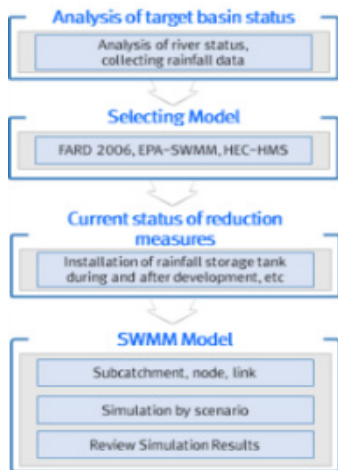


Fig. 1. Flow chart

SWMM모형을 활용하였다. 연구대상지 현지조사결과 신포 및 맥도배수펌프장의 경우 펌프시설 용량까지의 운영사례는 없는 것으로 조사되었으며, 부지 계획고를 하천 계획홍수위 이상으로 승고를 반영하였다. 구축된 자료를 통해 강우사상(30년빈도, 80분) 침수모의 해석을 수행하였다. 모의된 자료를 토대로 다양한 시나리오에 대한 침수모의 작업을 수행하였으며, 검증 및 침수발생 우려를 대비한 최적의 안을 구축하고 Case별 시설용량을 산정하여 홍수저감방안을 검토하였다. 본 연구의 연구 흐름도는 아래 Fig. 1과 같다.

## 2.1 도시유출모형 적용

### 2.1.1 대상유역 현황

연구지역은 김해공항, 부산신항, 신항만 배후철도와 인접한



Fig. 2. Research Area Status Map

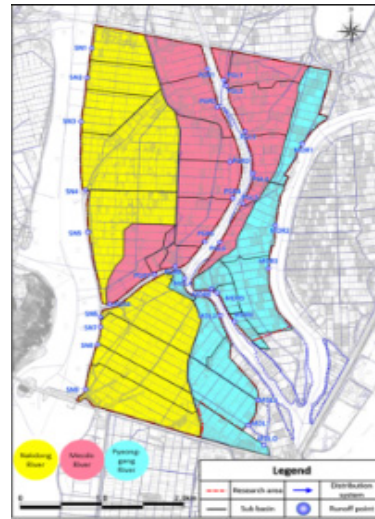


Fig. 3. Research Area Basin

Table 1. Research Watershed Status

River name	Level	Area (km <sup>2</sup> )	Length (km)	Flood Discharge (m <sup>3</sup> /s)	River Width (m)	Frequency
West-Nakdong River	State	303.1	26.8	1,940	796	200
Mecco River	State	6.21	11.6	35	139	200
Pyeong-gang Stream	State	34.61	15.4	225	67	200

Table 2. Comparison of Probability Rainfalls Data

Period	Division		Rainfall Duration				
			60min	120min	180min	1440min	
50yr	Seo Nak-dong River(National River)	Busan	101.4	142.9	173.4	370.0	
		Kimhae	88.1	126.1	148.6	297.7	
	Probability Rainfall		Busan	97.4	138.5	165.7	343.6
	1973yr ~ 2017yr		Busan	104.7	150.4	180.5	373.4
100yr	Seo Nak-dong River(National River)	Busan	112.3	158.4	192.2	411.1	
		Kimhae	98.2	140.9	166.0	329.3	
	Probability Rainfall		Busan	108.2	153.9	184.0	382.2
	1973yr ~ 2017yr		Busan	116.3	167.1	200.4	414.7
200yr	Seo Nak-dong River(National River)	Busan	123.2	173.9	210.9	452.0	
		Kimhae	108.4	155.7	183.1	360.9	
	Probability Rainfall		Busan	118.9	136.2	202.2	420.2
	1973yr ~ 2017yr		Busan	127.8	183.7	220.3	455.7
Disaster Prevention Target Rainfall		Busan	90	130	155	-	

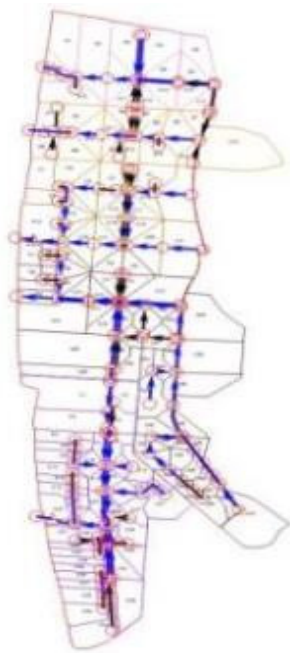


Fig. 4. Research Basin pipe&culvert data

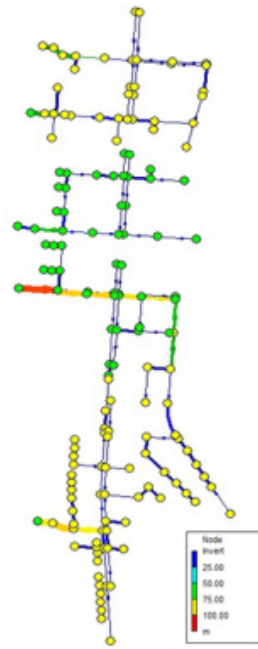


Fig. 5. Total Basin Mapping

곳으로 인근 도시들과의 접근성이 우수하고, 대상 지역의 수치지형도를 이용하여 각 구역별 구역면적 및 유로연장을 산정하였다(Fig. 2). 이를 통해 구역의 형태를 판단할 수 있는 구역의 평균 폭 및 형상 계수를 분석하였다. 대상지역의 배수구역은 크게 3개의 수계(서낙동강, 평강천, 맥도강)를 따라 34개의 유출지점으로 구분하였다(Table 1, Fig. 3).

2.1.2 강우관측소 선정

지정학적으로 김해우량관측소(국토교통부 관할) 및 부산관측소(기상청 관할)가 위치하고 있으며, 관측소별 확률강우량 비교 분석을 위하여 서낙동강수계 하천기본계획과 부산기상청 및 금회산정 부산기상청 확률강우량을 비교하였다. 비교분석결과 금회산정한 확률강우량이 부산 방재성능목표를 상회하는 것으로 조사되어, 부산관측소의 자료를 1973년부터 2017년의 최근 50년 자료를 수집하였고, 지속기간별 고정시간 연 최대 강우량을 활용하여 기상 및 수문분석을 실시하였다(Table 2).

2.2 통수능 검토

2.2.1 자료 구축

본 연구에서는 최근 국지성 강우 및 태풍 내습 시 부산시 방재성능 향상을 목표로 이전의 홍수기록, 정부부처 기준, 타당성검토 기준에 의거하여 강우의 빈도를 30년 빈도로 결정하였다. 관거 입력 자료는 관의 연장, 형상, 규격을 아래 Fig. 4와 같이 SWMM모형에 구축하였고 관망 구성은 모형의 특성을 고려해 600mm 이상의 우수관을 대상으로 분석하였으며, 대상구역의 우수관망도를 활용하여 총 172개의 맨홀자료를 사용하였다. SWMM모형에서 맨홀은 관로를 연결하며 관망을 결정 시 관을 연결시켜주는 역할을 한다. 맨홀 입력 자료는 최대 깊이와 Invert 표고로 구성되어 있으며, 소유역을 분할하고 유

역별 평균경사 폭, 면적 등을 산정하였다.

2.2.2 구간별 통수단면 검토

입력한 자료를 바탕으로 구간별 통수능 검토를 실시하였다. 서낙동강 외수위를 경계조건으로 시행하였으며, 설계 빈도인 30년 빈도 검토결과 대상 구역은 침수 피해가 발생하지 않았다. 소유역별 통수단면 검토는 Fig. 5와 같다.

3 홍수저감대책

3.1 저류시설 및 기타시설 설치

본 연구에서는 부산에코델타시티를 대상으로 강우유출모형을 시행하였다. 그 결과 30년 빈도의 확률강우에서 침수가 발생하는 것을 확인하였고, 저류시설 및 기타시설을 설치하여 침수를 예방할 필요가 있다. 먼저 첫 번째로, ‘영구저류지 설치’는 방류구 하류단을 토사조절부 상단으로 하는 침사지의 홍수조절부 제원결정과 동일하게 계획하고, 저류지의 소요용량 산정 시 적용하는 임계지속시간은 홍수유출량과 같이 강우지속시간을 5분 간격으로 증가 시키면서 설계빈도로 결정된 50년 빈도의 저류지 유입홍수량을 대상으로 저류지 추적을 실시하여 저류지의 용량을 최대로 하는 지속시간을 임계지속시간으로 채택하여야 한다. 두 번째는 ‘식생수로 설치’이다. 식생수로 및 통로회분은 도로에서 배출되는 비점오염원을 저감시킨 후 비점오염원 저감시설에서 다시 연계처리 될 수 있도록 계획한다. 더욱 효과적인 관리가 될 것이다. 세 번째는 ‘투수성 포장’으로 보행자전용도로 또는 국영 주차장 등 빗물 관리가 용이한 장소에 설치하여, 빗물을 직접 하부 층에 통과하여 해당 지역에서 발생하는 우수유출량을 감소시키고, 토지계 배출부량이 삭감될 수 있도록 하는 방법이다.

Table 3. Result of Inside Water level calculation – Structural method

Classify	2017yr criterion Inside Water level (EL.m)	Highest Inside Water level(EL.m)						
		Pump station Expansion				Drainage gate Expansion		
		50m <sup>3</sup> /s	100m <sup>3</sup> /s	150m <sup>3</sup> /s	200m <sup>3</sup> /s	One	Three	
Flood amount by frequency	2yr	0.64	0.55	0.44	0.24	0.03	0.64	0.64
		(-0.09)	(-0.20)	(-0.40)	(-0.61)	(-)	(-)	
	5yr	0.77	0.69	0.58	0.43	0.16	0.77	0.77
		(-0.08)	(-0.19)	(-0.34)	(-0.61)	(-)	(-)	
	10yr	0.85	0.82	0.78	0.73	0.61	0.85	0.85
		(-0.03)	(-0.07)	(-0.12)	(-0.24)	(-)	(-)	
	20yr	0.85	0.84	0.81	0.80	0.76	0.85	0.84
		(-0.01)	(-0.04)	(-0.05)	(-0.09)	(-)	(-0.01)	
30yr	0.86	0.84	0.82	0.82	0.79	0.85	0.82	
	(-0.02)	(-0.04)	(-0.04)	(-0.07)	(-0.01)	(-0.04)		
50yr	0.88	0.86	0.83	0.83	0.81	0.88	0.87	
	(-0.02)	(-0.05)	(-0.05)	(-0.07)	(-)	(-0.01)		
200yr	0.96	0.90	0.89	0.88	0.88	0.93	0.90	
	(-0.06)	(-0.07)	(-0.08)	(-0.08)	(-0.03)	(-0.06)		
Heavy rain event	1991yr	0.67	0.61	0.55	0.49	0.44	0.64	0.62
		(-0.06)	(-0.12)	(-0.18)	(-0.23)	(-0.03)	(-0.05)	
	2009yr	1.01	1.00	0.99	0.98	0.98	1.01	1.00
		(-0.01)	(-0.02)	(-0.03)	(-0.03)	(-)	(-0.01)	
	2011yr	0.32	0.31	0.29	0.28	0.27	0.32	0.31
		(-0.01)	(-0.03)	(-0.04)	(-0.05)	(-)	(-0.01)	
	2016yr	0.70	0.70	0.69	0.57	0.25	0.70	0.69
		(-)	(-0.01)	(-0.13)	(-0.45)	(-)	(-0.01)	

Table 4. Result of Inside Water level calculation – Non Structural method

Classify	2017yr criterion Inside Water level (EL.m)	Highest Inside Water level(EL.m)				
		EL.(-)0.5m	EL.(-)1.0m	EL.(-)1.5m	EL.(-)2.0m	
Flood amount by frequency	2yr	0.64	0.63	0.46	0.24	0.20
		(-0.01)	(-0.18)	(-0.40)	(-0.44)	
	5yr	0.77	0.76	0.7	0.43	0.31
		(-0.01)	(-0.07)	(-0.34)	(-0.46)	
	10yr	0.85	0.85	0.79	0.65	0.58
		(-)	(-0.06)	(-0.20)	(-0.27)	
	20yr	0.85	0.85	0.82	0.76	0.73
		(-)	(-0.03)	(-0.09)	(-0.12)	
30yr	0.86	0.85	0.85	0.84	0.84	
	(-0.01)	(-0.01)	(-0.02)	(-0.02)		
50yr	0.88	0.87	0.86	0.86	0.84	
	(-0.01)	(-0.02)	(-0.02)	(-0.04)		
200yr	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	
	(-)	(-)	(-)	(-)		
Heavy rain event	1991yr	0.67	0.67	0.66	0.65	0.65
		(-)	(-0.01)	(-0.02)	(-0.02)	
	2009yr	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
		(-)	(-)	(-)	(-)	
	2011yr	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
		(-)	(-)	(-)	(-)	
	2016yr	0.70	0.68	0.68	0.67	0.66
		(-0.02)	(-0.02)	(-0.03)	(-0.04)	

### 3.2 배수시설 및 사전배제 시나리오

#### 3.2.1 Case별 하천재해방지방안 구축방안

상기 강우사상(30년빈도, 80분)을 통해 강우유출모의를 시행한 결과 침수 발생 우려가 있으므로 구조적, 비구조적, 구조

적·비구조적 총 세 가지 방안에 대하여 검토해보았다. 검토 시 조건은 빈도별 홍수량(2년~200년)과 기 수집된 부산관측소 자료 중 대표 4개 자료(91년~16년)를 활용하였다. 첫 번째로, 구조적 방안은 배수펌프장 및 배수문 증설 시 내수위 저감 효과분석으로, 배수문 증설보다 배수펌프장 증설이 내수위 저

Table 5. Result of Inside Water level calculation - Structural, Non Structural method

Classify	2017 (EL.m)	Highest Inside Water level(EL.m)								
		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8	
Flood amount by frequency	2yr	0.64	0.34 (-0.30)	0.09 (-0.56)	0.01 (-0.63)	-0.05 (-0.69)	0.21 (-0.43)	0.06 (-0.58)	-0.14 (-0.78)	-0.30 (-0.94)
	5yr	0.77	0.48 (-0.29)	0.22 (-0.55)	0.16 (-0.61)	0.10 (-0.67)	0.36 (-0.41)	0.21 (-0.56)	0.04 (-0.73)	-0.14 (-0.91)
	10yr	0.85	0.71 (-0.14)	0.58 (-0.27)	0.55 (-0.30)	0.53 (-0.32)	0.58 (-0.27)	0.51 (-0.34)	0.49 (-0.36)	0.38 (-0.47)
	20yr	0.85	0.78 (-0.07)	0.74 (-0.11)	0.73 (-0.12)	0.72 (-0.13)	0.72 (-0.14)	0.70 (-0.15)	0.68 (-0.17)	0.61 (-0.24)
	30yr	0.86	0.84 (-0.02)	0.81 (-0.05)	0.79 (-0.07)	0.77 (-0.09)	0.83 (-0.03)	0.80 (-0.06)	0.78 (-0.08)	0.73 (-0.13)
	50yr	0.88	0.84 (-0.04)	0.81 (-0.07)	0.80 (-0.08)	0.79 (-0.09)	0.84 (-0.04)	0.80 (-0.08)	0.79 (-0.09)	0.78 (-0.10)
	200yr	0.96	0.90 (-0.06)	0.89 (-0.07)	0.88 (-0.08)	0.88 (-0.08)	0.90 (-0.06)	0.89 (-0.07)	0.88 (-0.08)	0.88 (-0.08)
Heavy rain event	1991yr	0.67	0.60 (-0.07)	0.54 (-0.13)	0.49 (-0.18)	0.44 (-0.23)	0.60 (-0.07)	0.54 (-0.13)	0.49 (-0.18)	0.44 (-0.23)
	2009yr	1.01	1.00 (-0.01)	0.99 (-0.02)	0.98 (-0.03)	0.98 (-0.03)	1.00 (-0.01)	0.99 (-0.02)	0.98 (-0.03)	0.97 (-0.04)
	2011yr	0.32	0.31 (-0.01)	0.29 (-0.03)	0.28 (-0.04)	0.27 (-0.05)	0.31 (-0.01)	0.29 (-0.03)	0.28 (-0.04)	0.27 (-0.05)
	2016yr	0.70	0.68 (-0.02)	0.67 (-0.03)	0.55 (-0.15)	0.22 (-0.48)	0.65 (-0.05)	0.50 (-0.20)	0.29 (-0.41)	0.07 (-0.63)

Table 6. Summary of the optimal method

Classify	Alternative	Evaluation by Alternatives	Choice
Case 1	Pump station Expansion 50m³/s + EL.(-)1.0m	- Lowland average ground height exceeding EL.0.5m, less than 10years frequency - Case3, Case4 is oversized for additional pumping stations due to the site conditions - Case5 5 cannot be pre-excluded due to the expansion of the pumping station(50m³/s)	
Case 2	Pump station Expansion 100m³/s + EL.(-)1.0m		
Case 3	Pump station Expansion 150m³/s + EL.(-)1.0m		
Case 4	Pump station Expansion 200m³/s + EL.(-)1.0m		
Case 5	Pump station Expansion 50m³/s + EL.(-)1.5m		
Case 6	Pump station Expansion 100m³/s + EL.(-)1.5m	- Lowland average ground height exceeding EL.0.5m, satisfied 10years frequency	◎
Case 7	Pump station Expansion 150m³/s + EL.(-)1.5m	- Lowland average ground height exceeding EL.0.5m, satisfied 10years frequency	
Case 8	Pump station Expansion 200m³/s + EL.(-)1.5m	- Case 7,8 is oversized for additional pumping stations due to the site conditions	

감 효과가 큰 것으로 판단되었다(Table 3). 두 번째는 비구조적인 방안으로 사전배제)-0.5m ~ -2.0m) 방안을 검토하였으며, 운영효과 기대는 어려울 것으로 판단되었다(Table 4). 세 번째는 구조적 방안과 비구조적 방안을 조합하여 8가지 시나리오를 구성해보았다(Table 5).

3.2.2 Case별 재해방지방안 분석 결과

현재 연구 대상지역에서 인접한 펌프장은 녹산배수펌프장이 다. 이는 저지대 침수 완전해소 보다는 침수 면적 최소화를 목적으로 건설되었다. 서 낙동강 제내측 저지대 지반고는 EL 0.3m~EL 0.7m이며 평균 EL 0.5m이다. 약 3년 빈도 이상의 호우 발생 시 저지대 대부분이 내수배제로 인한 문제가 발생하게 되는데, 최적의 침수 방지 대안은 저 빈도 홍수 시 저지대 침수를 최소화하는 방안을 기준으로 현지 여건을 종합적으로

고려하여 결정토록 하였다(Table 6).

4. 결 론

최근 급격한 도시화에 따른 불투수 면적의 증가와 빈번하게 발생하는 이상기후와 강우량의 증가로 도시 유역내 저지대 및 상습침수 구역의 피해를 가중시켰다. 따라서 본 연구에서는 SWMM을 이용하여 부산에코델타시티 조성사업 대상지역인 부산광역시 강서구에 대한 침수모의를 진행하였으며 홍수저감 대책 방안을 제시 하였다. 확률 강우강도식과 부산기상대의 56개년의 시우량 자료를 활용하여 11개의 강우지속기간에 대하여 조사 및 분석하였으며, 서낙동강 외수위를 경계조건으로 30년 빈도 강우사상을 적용한 검토 결과 대상유역의 경우 침수 피해가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 침수분

석 결과를 토대로 홍수 시 침수에 대한 저감대책을 제시하고자 한다. 첫 번째는 저류시설 및 기타시설을 설치하는 방안으로 50년 빈도의 홍수 유출량을 기준으로 16개소의 영구 저류지 설치방안, 식생수로를 설치하여 침투·저류면적의 확대와 비점오염원의 저감과 함께 비점오염원 저감시설과의 연계처리 방안 계획 및 빗물이 하부층으로 직접 통과하여 상업지구의 우수유출량 감소가 용이하도록 투수성 포장을 계획한다. 두 번째는 저감대책 수립방안에 대한 시나리오를 구축하여 각 케이스 별로 재해방지방안을 구축하는 방법이다. 30년 빈도 80분 강우사상으로 침수모의 해석을 실시하며 구조적 방안과 비구조적 방안을 고려하였을 때 배수문 증설보다 배수펌프장의 증설이 효과가 큰 것으로 판단되며 비구조적 재해방지방안인 사전배제 방법과 결합하여 8개의 시나리오와 그에 대응하는 대안을 제시하였고, 각 대안에 대한 평가를 실시한 결과 6번째 안으로 제시한 펌프장 증설 100m<sup>3</sup>/s와 사전배제 EL(-)1.5m가 최적 대안인 것으로 판단된다.

## References

- Ashis, KD, Seiji, K(2007), An integrated modeling approach to predict flooding on urban basin, *Water Science & Technology*, 55, pp. 19–29. [DOI:<https://doi.org/10.2166/wst.2007.091>]
- Babaei, S, Ghazavi, R, Erfanian, M(2018). Urban flood simulation and prioritization of critical urban sub-catchments using SWMM model and PROMETHEE II approach, *Physics and Chemistry of the Earth*, 105, pp. 3–11 [DOI:<https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.02.002>]
- Cera, TB, Tremwel, TK and Burselson, RW(1996). Use of ARC/INFO, EPA-SWMM and UNIX text processing tools to determine flood extent, *American Water Resources Association Technical Publication Series*, 96(3), pp. 407–416.
- Cho, MO, Yoon, JY, Yoon, YN, Jang, SH(2007). An analysis of flood runoff variations due to watershed development using SWMM, *J. of The Korean Society of Civil Engineers*, 27, pp. 125–132. [Korean Literature]
- Eling, FA, Garcia, JLB, Paiva, EMCD, Bastos, GAP, Paiva, JBD(2011) Analysis of the SWMM model parameters for runoff evaluation in Periurban Basins from Southern Brazil, *Proceedings of the 12th International Conference on Urban Drainage*, Porto Alegre, Brazil, pp. 1–8.
- Hsu MH, Chen SH, and Chang TJ(2000). Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system, *J. of Hydrology*, 234(1–2), pp. 21–37. [DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00237-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00237-7)]
- Kang, TU, Lee, SH(2012), A study for a reasonable application of the SWMM to watershed runoff event simulation, *J. Korean Society of Hazard Mitigation*, 12, pp. 247–258. [Korean Literature] [DOI:<https://doi.org/10.9798/kosham.2012.12.6.247>]
- Lee, JH, Song, YH, Jo, DJ(2013), Determination of optimal locations of urban subsurface storage considering SWMM parameter sensitivity, *J. of Korean Society of Hazard Mitigation*, 13, pp. 295–301. [Korean Literature] [DOI:<https://doi.org/10.9798/kosham.2013.13.4.295>]
- Liao, ZL, Zhang, GQ, Wu, ZH, He, Y, Chen, H(2015). Combined sewer overflow control with LID based on SWMM an example in Shanghai, China. *Water Science and Technology*, 7(18), pp. 1136–1142 [doi <https://doi.org/10.2166/wst.2015.076>]
- Kim, SM, Park, YK, Jung, JS, Lee, HK(2017). Analysis of effects for water quality improvement considering volume of storage facilities and LID techniques, *J. of Korean Society Environmental Technology*, 18(3), pp. 210–221, [Korean Literature]
- Kwon, SH, Ahn, SH, Park, SW, Jeong, HO(2017). An analysis on the optimal inlet side-weir size of underground storage facility using SWMM, *J. of Korean Society Environmental Technology*, 18(5), pp. 472–481. [Korean Literature]
- Lee, JH, Yean, KS(2008). Flood inundation analysis using XP-SWMM model in urban area, *J. of Korean Society of Hazard Mitigation*, 5, pp. 155–161. [Korean Literature]
- Rossman, LA(2015). *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1*, United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, United States of America.
- Sharifan, RA, Roshan, A, Alflatoni, M, Jahedi, A, Zolghadr, M(2010). Uncertainty and sensitivity analysis of SWMM model in computation of manhole water depth and subcatchment peak flood, *Procedia*, 2(6), pp. 7739–7740 [DOI:<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.05.205>]
- Scott A, Lowe(2010). Sanitary sewer design using EPA storm water management model (SWMM), *Computer Applications in Engineering Education*, 18, pp. 203–212 [DOI: <https://doi.org/10.1002/cae.20124>]
- Shin, HS, Park, YW, Kim, HT(2005). The study on the development of urban flood prediction and warning system at coastal area based on SWMM and HEC-RAS models, *Proceedings of the Korea water resource association*, pp. 816–820. [Korean Literature]
- Shon, TS, Kang, DH, Jang, JK, Shin, HS(2010). A study of assessment for internal inundation vulnerability in urban area using SWMM, *J. of Korean Society of Hazard Mitigation*, 4, pp. 105–117. [Korean Literature]
- Simon, KA, Vicente, B, Lan, B, et al(2012), *Managing The Risks Of Extreme Events And Disasters To Advance Climate Change Adaptation*. IPCC, New York, USA.
- Tsihrintzis, VA, and Hamid, R(1998). Runoff quality prediction from small urban catchments using SWMM. *Hydrological Processes* 12(2), 311–329. [DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199802\)12:2<311::AID-HYP579>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199802)12:2<311::AID-HYP579>3.0.CO;2-R)]