

이상강우 발생시 도시침수 방지를 위한 월류형 우수배수방법 연구

서세덕* · 박형근** · 김태현***

Seo, Se Deok*, Park, Hyung Keun**, Kim, Tae Hyun***

A Study on the Stormwater Drainage Method of Overflow Type for the Prevention of Urban Flood due to Abnormal Precipitation

ABSTRACT

Urban flooding has been a frequent phenomenon in recent years caused by the increase in maximum stormwater runoff arising from abnormal rainfall due to global warming, urban development, and development of lowlands according to population inflows. In order to respond positively against abnormal precipitation in the city, it is necessary to check the GWI (Green Water Infra) effect and effectively utilize the existing stormwater detention tanks and treat stormwater to prevent local flooding. In this study, Overflow Type stormwater drainage methods are evaluated as a method of preventing urban flooding in abnormal precipitation using the Dynamic Wave Analysis SWMM (Storm Water Management Model) provided by the United States Environmental Protection Agency. Comparing and analyzing the Upward Watergate Type and Overflow Type, it was analyzed that the Overflow Type reduces the maximum flood discharge by 61 % and the total flood volume by 56 % in the rainfall of Typhoon Kong-rey. The application of the Overflow Type and the natural-pneumatic drainage method to the rainfall of Typhoon Soulik resulted in a 20 % reduction in maximum flood runoff and a 67 % reduction in total flood quantity. Therefore, as a solution to the abnormal rain fall, it is possible to improve the existing stormwater detention tank and install additional facilities. It is expected to be economically possible to storm drainage under limited conditions.

Key words : Abnormal rainfall, SWMM, Stormwater detention tank, Overflow type, Global warming

초 록

지구 온난화에 의한 이상강우, 도시개발 및 인구유입에 따른 저지대 개발로 인한 우수유출량의 증대로 도시침수가 빈번히 발생하고 있다. 도시에서 이상강우에 적극적으로 대비하기 위해서는 GWI (Green Water Infra) 효과 확인과 기존 설치된 우수저류조를 효과적으로 활용하고 국지적 침수를 방지하는 우수배수 방법이 필요하다. 본 연구에서는 EPA (United States Environmental Protection Agency)에서 제공하는 SWMM (Storm Water Management Model)의 동적파해석(Dynamic Wave Analysis)을 이용하여 이상강우에서 도시침수 방지방법으로서 월류형 우수배수방법을 적용 및 분석하였다. 그 결과 태풍 콩레이로 발생한 강우에서 월류형 우수저류조 설치가 최대홍수유출을 61 %, 총 홍수량을 56 % 감소시키는 것으로 분석되었으며, 태풍 솔릭의 강우에서는 월류형 우수저류조 및 자연-압송식 배수방법이 최대 홍수유출 20 % 감소 및 총 홍수량 67 % 감소하는 것으로 분석되었다. 따라서, 이상강우에 대한 대책으로 기존 우수저류조의 개량 및 추가 시설물 설치를 통해 제한된 조건에서 경제적인 우수배수가 가능한 것으로 판단된다.

검색어 : 이상강우, SWMM, 우수저류조, 월류형, 지구온난화

* 정희원 · 충북대학교 토목공학과 박사수료, 공학석사 (Chungbuk National University · seosd@chungbuk.ac.kr)

** 종신회원 · 충북대학교 토목공학부 교수, 공학박사 (Chungbuk National University · parkhk@chungbuk.ac.kr)

*** 교신저자 · (주)태창종합기술사사무소 대표이사, 박사수료 (Corresponding Author · Tae Chang Professional Engineer Office · civil-hydro@daum.net)

Received June 13, 2019/ revised July 5, 2019/ accepted July 25, 2019

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 급격한 환경변화 및 지구온난화 같은 기상이변의 영향으로 과거의 실측 강우데이터로 유도된 확률강우를 초과하는 이상강우는 꾸준히 증가하고 있다. 이러한 이상강우는 우리나라 여름철에 집중되어 인명 및 재산피해를 유발하고 있다. 특히, 도시개발로 인한 유출계수 증가, 인구유입에 의한 저지대 개발로 기존 완충지는 축소되어 도시침수 피해지역은 지속적으로 확대되고 있는 실정이다. 이를 해결하기 위한 노력으로 도심지 침수피해 감소를 위한 우수관경 확대 공사를 실시하고 있으나 이는 과도한 공사비, 사유지, 교통정체, 건물균열 등의 민원으로 설치에 한계가 있으며, 일부구간의 공사만으로는 이와 같은 문제를 근본적으로 해결하는데 한계가 있다. 또한, 최근 활발한 GWI (Green Water Infra) 설치는 총 유출량을 감소시키는 효과는 있으나 이상강우 시 침수방지 효과는 미비하고, 유입수문 상향열림 방법으로 설치된 우수저류조는 강우 초기 목표유량 이상을 유입시킨 후 그 기능을 상실하게 되는 특성을 가지고 있다.

이와 같은 저류조 설치 효과를 분석하기 위한 수문거동 해석 방법으로 정상상태해석방법을 주로 사용하고 있다. 정상상태해석 방법은 해석의 간편함과 총 유출량이 증가하는 경향으로 우수배수 계획 및 설계에 많이 적용되나, 실시간으로 변화하는 이상강우에 효율적으로 대처하기 위해서는 우수의 침투, 저류, 관로의 통수능력 등을 고려한 유출수량제어가 필요하다.

따라서 본 연구는 연구지역의 방재성능목표 강우와 실제 발생한 이상강우를 분 단위로 SWMM (Storm Water Management Model)에 적용하여 우수저류조의 효율적인 운영과 도시에서 적용 가능한 침수방지 방안으로서 월류형 우수배수방법 연구를 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 경상북도 영덕군 영해면 상내리 일원에 홍수방지를 위해 2012년에 설치된 상향열림 방식의 우수저류조를 대상으로 하였으며 우수저류조의 최대 저류량은 12,000 m³ (A=3,407 m²), 해당 소유역은 41 km²의 특징을 가지고 있다. 2012년도에 조사된 지형데이터와 우수관로 데이터를 적용하여 현재 설치되어 있는 상향열림 방식의 저류조와 본 연구에서 제안하는 월류형 방식의 저류조의 비교분석으로 제한한다.

연구방법은 Fig. 1과 같이 총 4단계로 진행하였다.

1단계로 행정안전부의 ‘지역별 방재 성능목표 설정·운영 기준’을 바탕으로 연구지역의 지속시간 별 방재성능 목표를 설정하고 태풍 나비(BANI)와 콩레이(Kong-rey)의 강우자료를 적용하여

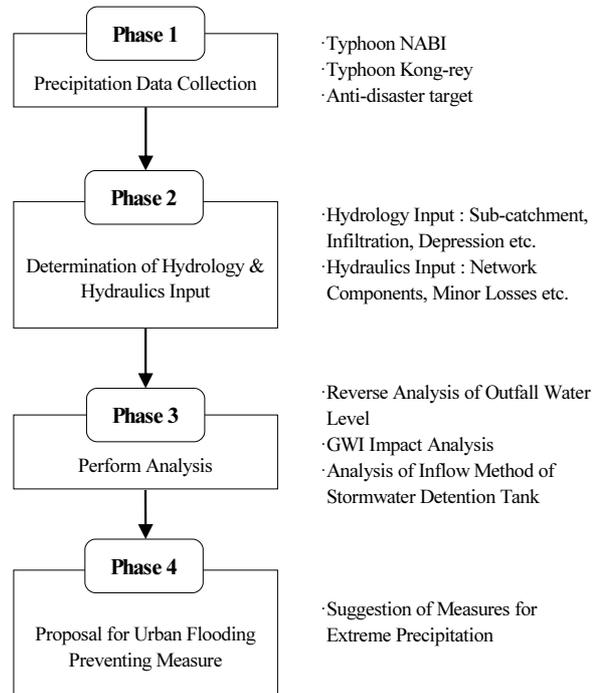


Fig. 1. Research Flow Chart

방재성능목표 초과 유무를 분석하였다.

2단계는 SWMM모형을 구축하기 위해 대상유역의 수문학적 특성(유역면적, 지표 침투율 및 저류량 등)과 수리학적 특성(우수관로 관경, 경사, 마찰계수, 손실계수 등) 등을 분석하여 모형을 구축하였다.

3단계는 구축된 모형을 이용하여 이상강우의 유출수에 대한 GWI영향과 월류형 우수배수방법의 침수방지 효과를 분석하였으며, 마지막 단계는 우리나라에서 발생한 기록적인 이상강우를 모델에 적용하여 연구지역의 효율적인 침수방지방안을 제시하였다.

2. 연구동향

2.1 선행연구

최근 관련기술의 발달 및 컴퓨터 성능 향상으로 도시침수에 관한 연구는 꾸준히 진행되고 있다.

Kim et al.(2013)은 설계빈도를 초과 하는 강우사상과 예측할 수 없는 집중호우 시 맨홀에서의 과부하 흐름에 관한 연구를 수행하였으며, Ahn et al.(2013)은 침수 특성치를 이용한 도시유역의 침수위험성 평가방법을 제시하는 연구를 수행하였다.

Song et al.(2013)은 서울대학교 노천강당 유역과 공과대학 폭포 유역에 기존 저류시설과 신설 지하저류조의 공동 운영을 통해 유출량의 탄력적 관리에 관하여 연구하였다.

Ahn et al.(2014)은 분지형 도시구역에서의 노면류를 고려한 침수모의 연구를 수행하였으며, Son et al.(2015)은 도시지역 도로 네트워크를 활용한 침수지역 예측에 관한 연구를 수행하였다.

Tak et al.(2016)의 외수영향을 고려한 침수해석 및 관거 확대의 영향 연구를 진행하였으며, Kang and Kown(2017)은 도시확장 강도와 건물침수 사이에 공간적 관계성에 관한 연구를 진행하였다. Lee and Lee(2018)은 침수위험도 공간정보 개발 연구, Kim et al.(2018)은 강우량-지속시간-침수량 관계를 고려한 침수범위 연구, Ha et al.(2018)은 도시유출 현상에 영향 주는 요인 연구, Kim et al.(2018)은 기후변화에 따른 도시 유출량 변화 연구 등의 도시침수에 미치는 영향, 침수분석 및 대응방법을 제시하였다.

2.2 이론적 배경

2.2.1 EPASWMM 동적파해석

정상상태해석은 각 계산 시간단계에서의 흐름은 균일하고 안정적인 것으로 가정하고 Manning 식을 사용하여 유속과 수위와의 관계를 구하며, 관로의 상류에서 유입된 유량을 하류로 단순히 이송시켜 해석한다. 관성력과 압력을 무시하여 관로의 경사는 0 보다 커야 하고 맨홀은 하나의 관로로 유출되며, 맨홀에서의 관로와의 낙차는 고려하지 못하는 한계가 있다.

EPASWMM에서 동적파해석은 1차원 St. Venant 흐름 방정식을 사용 관로내의 저장, 역류 및 가압 흐름, 압출구 손실, 곡률손실 등의 효과를 반영하여 해석가능하다. 노드와 관로에서의 수위 해석을 연계하므로 다양한 흐름 전환 및 루프가 포함 된 네트워크에도 적용 가능하며, 흐름 제한과 웨어 및 오리피스스를 통한 유량 조절로 심각한 역류가 있는 시스템에 적합한 해석방법이다(Rossman, 2015; Rossman and Huber, 2016; Rossman, 2017).

2.2.2 월류형 우수배수방법

월류형 우수배수방법은 월류장치를 침수가 빈번한 곳에 설치하여 첫째, 목표수위 이상의 수량을 월류 및 배수시키는 제1 월류박스

둘째, 제1 월류박스에서 월류되지 않은 목표수위 이상의 유량을 추가로 월류 및 배수시키는 제2 월류박스로 제1 월류박스와 연속되게 하류에 설치되며, 셋째, 상향식 유입수문의 대체로 우수저류조 유입수문 위치에 제2 월류박스와 함께 설치되어 목표수위 이상의 유량을 우수저류조로 유입시키는 제3 월류박스를 포함하여 구성된다.

이처럼 월류장치로 월류 및 배수시킨 우수는 자연압송식 관로를 통해 우수저류조 또는 펌프장으로 배출된다. 또한, 기존 우수관로의 전제적인 교체 없이 우수박스 2개조(4 m)를 월류장치로 교체하고 중간 맨홀이 필요치 않는 소형원형관로를 매설하여 자연압송식 배수공법으로 이송하는 특징을 가지고 있다.

그리고 비굴착관로 매설공법 적용이 가능한 원형관로 매설로 대형박스관로 신설 및 증설로 인한 도심의 교통체증, 공사비, 민원증가를 최소화 하며, 우수저류조 유입수문 조정 장치인 계측제어, 통신, 전기, 기계장치 등의 대체와 유지관리비를 절감효과를 줄 수 있다.

Table 1은 본 연구에 적용된 월류형 우수배수방법을 나타낸다.

3. 연구지역 유역특성 분석 및 모델구축

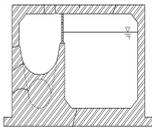
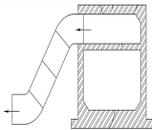
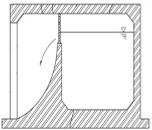
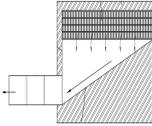
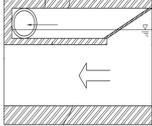
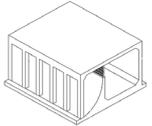
3.1 연구지역 방재 성능목표 및 유역특성 분석

행정안전부의 ‘지역별 방재 성능목표 설정·운영 기준’(Ministry of Public Administration and Safety, 2017)에 근거한 경상북도 영덕군의 강우 지속시간 별 방재성능목표는 1시간(65 mm), 2시간(85 mm), 3시간(95 mm)이다.

그러나 실제 태풍 콩레이(Kong-rey)로 인해 발생한 강우데이터를 적용하면 Table 2와 같이 지속시간 3시간 기준 24분간(최대 105.5 mm/3 hr) 방재성능목표를 초과하는 것으로 나타났다.

Table 3는 연구지역의 수문학적특성을 나타낸 것이다. 벌영천 등 소하천으로 둘러싸인 지형과 고지대의 유출수를 통수시키던 소하천이 도시개발로 인하여 우수관으로 교체되었고, 토질은 투수성이 높은 실트질 모래층이다. 상업지구는 불투수면적 비율이 높고

Table 1. Overflow Device

Category	Overflow Box 1	Overflow Box 2	Overflow Box 3
Front View			
Side View			

*Patent Application : 10-2018-0168910, The rainfall pipe overflow device and the natural forced water discharge method and the rainfall reservoir inflow method to prevent the flooding of the downtown using the device

Table 2. Actual Rainfall Data

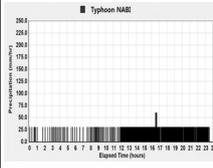
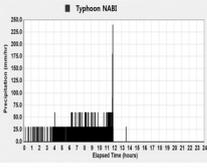
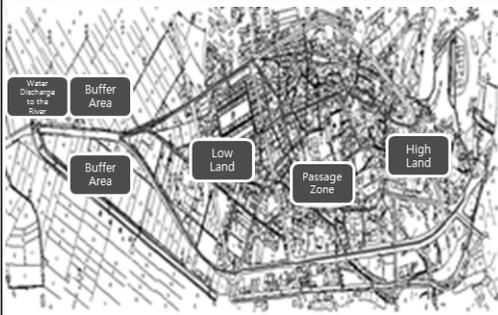
Category	Typhoon NABI	Typhoon Kong-rey
Rainfall Date	Sep. 6, 2005	Oct. 6, 2018
Rainfall Characteristics		
Precipitation	213.5 mm/day	242 mm/day
Time Exceeding the Disaster Prevention Performance Goal for Each Duration Time	1 hr	-
	2 hrs	-
	3 hrs	24 min. (maximum 105.5 mm/3 hr)

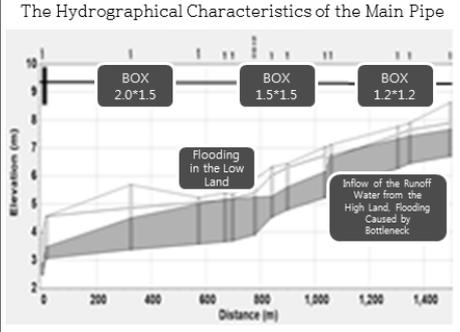
Table 3. Hydrological Characteristics of the Research Region

Watershed Shape	
Runoff Part	Discharged to Beolyeong River released in the downstream part of Song River
Use of the Ground Surface	The commercial region including the traditional market, the residential region concentrated with old houses, and residential region with the high water permeability rate including fields and paddies
Characteristics of Soil Quality	The silt quality sand layer from the ground surface to 4m underground and the lower sand layer

불투수지역의 강우는 투수지역을 거치지 않고 직접 유출되는 비율이 높은 특성을 가지고 있다.

Table 4는 연구지역의 수리학적특성을 나타낸 것으로 통로구역 출구에서는 관경축소, 저지대 침수구역 상부에 위치한 우수저류조 유입부는 방류하천 수위변화에 영향을 받는 특성을 보인다.

Table 4. Hydrographical Characteristics

The Hydrographical Characteristics of the Main Pipe	
Pipe Network Organization	
The Flooding Section in the Upstream	The phenomenon of the runoff water in the high land and the reduction of the pipe diameter in the entrance of the alley
The Flooding Section in the Low Land	The gentle pipe slope, the effect on the change of the water level of the river discharging water

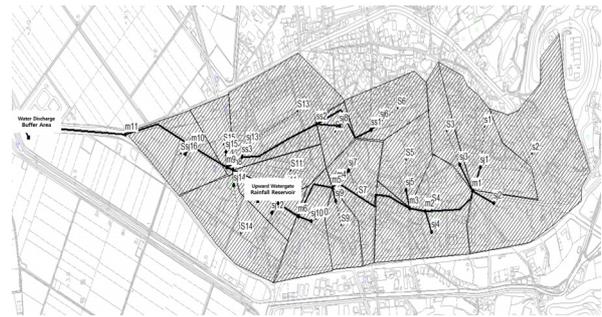
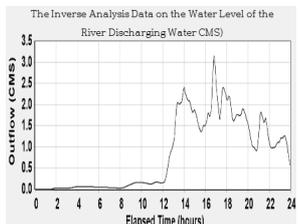
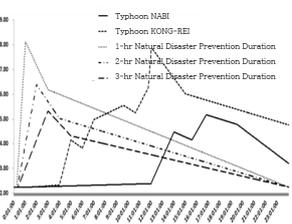


Fig. 2. EPASWMM Modeling

Table 5. The River Water Level for Rainfall

The Runoff Quantity of Typhoon NABI Applied for the Inverse Analysis	The River Water Level of the Water Discharging Part for Rainfall
	

3.2 우수배수 모델구축

연구지역의 수리·수문학적 특성과 지선우수관로 및 지표형상을 반영하여 EPASWMM으로 우수배수 모델을 구축하였으며 Fig. 2는 대상지역에 구축된 모델이다.

방류하천수위는 우수관의 유출지연 및 저지대 침수현상 구현에 필수적으로 태풍 나비의 강우데이터를 역해석하여 강우에 대한

방류부 하천수위를 산정하였다.

태풍 나비 강우에 의한 유역유출량과 하천수위 관계는 Eq. (1)로 표현되고, Table 5는 각각의 강우데이터에 대한 급격한 수위변화가 발생하지 않도록 보정한 하천수위이다.

$$\text{하천수위}(E.L, m) = 2.25 + 2.92/3.15 * \text{모델유역 유출량}(m^3/s) \quad (1)$$

4. 시나리오 별 도시침수 영향 분석

본 연구에서는 앞서 구축된 모델을 기반으로 총 3가지의 시나리오를 기반으로 시설물 별 도시침수 방지에 미치는 영향을 분석하였다.

첫 번째 시나리오는 GWI 적용을 가정하여 도시침수 방지 영향을 분석하였으며, 해석 조건으로는 투수지역 증가 및 불투수지역의

유출수를 투수지역 경유로 가정하여 모의하였다.

두 번째 시나리오는 우수 저류조 유입 방법에 따른 침수 방지 효과 비교로써, 상향식 수문형과 월류형의 도시침수 방지 효과를 태풍 나비(NABI)와 콩레이(Kong-rey)의 강우사상을 적용하여 모의하였다.

세 번째 시나리오는 두 번째 시나리오의 강우사상보다 더 기록적인 이상강우를 보인 태풍 솔릭(SOULIK)의 강우사상을 적용하였으며, 상향식 수문형과 월류형 + 자연압송식 배수방법이 도시침수 방지에 미치는 영향을 분석하였다.

4.1 GWI 적용에 따른 도시침수방지 영향 분석

Table 6는 GWI 적용에 따른 각 소유역 특성변화를 나타낸다. GWI 적용 전후 소유역의 불투수면적비, 불투수지역 낙하 우수의 투수지역 경유비를 이용하여 각 강우에 대한 우수유출특성을 비교

Table 6. The Change Caused on the Hydrological Characteristics of the Small Watershed by GWI Installation

Category		Before GWI Application			After GWI Application		
Small Watershed NO.	Area (ha)	Impermeable Water Area Rate	Rate of the Direct Runoff of the Impermeable Water Area	Rate of the Passage of the Rainfall in the Impermeable Region to the Permeable Region	Impermeable Water Area Rate	Rate of the Direct Runoff of the Impermeable Water Area	Rate of the Passage of the Rainfall in the Impermeable Region to the Permeable Region
1	2.827	19	30	50	18	0	100
2	7.628	11	30	50	10	0	100
3	1.002	38	30	50	37	0	100
4	4.737	38	30	50	37	0	100
5	2.460	51	30	50	50	0	100
6	1.630	56	30	50	55	0	100
7	2.019	56	30	50	55	0	100
8	0.726	56	30	50	55	0	100
9	1.209	56	30	50	55	0	100
10	1.808	56	30	50	55	0	100
11	1.308	56	30	50	55	0	100
12	1.149	51	30	50	50	0	100
13	4.683	76	30	50	75	0	100
14	3.216	11	30	50	10	0	100
15	1.481	38	30	50	37	0	100
16	3.162	11	30	50	10	0	100

Table 7. Change of the Rainfall Runoff Quantity before and after GWI Application

Category	Total Runoff Quantity (m ³)			Remark
	Before GWI Application	After GWI Application	Reduction Quantity	
1-hr Duration	20,455	20,197	258	-1.26 %
2-hr Duration	27,756	27,483	273	-0.98 %
3-hr Duration	31,119	30,850	269	-0.86 %
Typhoon NABI	70,404	69,754	650	-0.92 %
Typhoon Kong-rey	86,799	85,938	861	-0.99 %

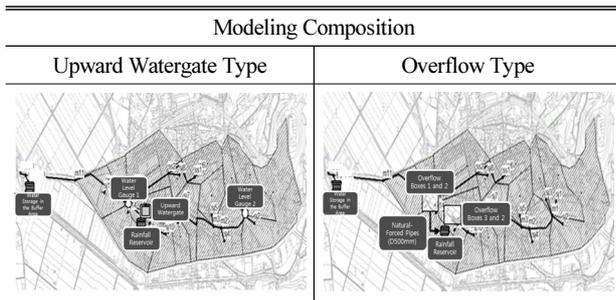
하였다. Table 7은 GWI 적용이 우수유출에 미치는 영향을 나타내며 해석조건은 유역면적의 1 % 투수성지역 증가와 불투수지역 유출수를 투수지역 경유로 50 % 증가시키고, 30 %의 불투수지역 직접유출을 0 %로 감소시킨 해석으로 총 유출량은 0.86~1.26 % 감소하는 것으로 나타났다.

4.2 상향식 수문형과 월류형의 침수방지효과 비교 분석

4.2.1 해석조건

본 연구지역은 우수관로 하류에서 완충지로의 월류를 허용하며, 우수저류조 유입수문은 방류부로부터 780 m 지점에 위치한다. 완충지내 우수관로 지점인 m11과 m12 고저차인 21 cm의 월류관을 m12에 위치시켜 완충지로의 월류량을 측정하며, 우수저류조 유입 방법을 상향식 수문형과 월류형으로 구분하여 우수저류조 유입 방법이 우수저류조 활용과 도시침수에 미치는 영향을 확인하였다.

Table 8. Comparison of the Modeling for Each Inflow Type of the Rainfall Reservoir



우수저류조 유입 조건은 상향식 수문형의 경우 메인관로의 시점 부와 저지대 침수구역의 관로수위 중 한 지점이 70 % 이상일 때 열리고 두 지점 모두 70 % 미만에서 닫히도록 하였으며, 월류형은 우수저류조 유입수문과 저지대의 관로수위 70 %에서 월류되는 조건이다. Table 8은 우수저류조 유입방식인 상향식 수문형과 월류형의 모델링을 나타낸다.

4.2.2 분석결과

Table 9은 각 강우에서 우수저류조의 상향식 수문형과 월류형에서의 반응특성을 나타내며, Flow Routing Error는 ±0.07 % 이내이다.

해석결과 월류형의 완충지 유출은 4~86 % 증가, 우수저류조 유입은 39~88 % 감소되는 것으로 나타났으며, 태풍 콩레이 강우에서 발생홍수는 상향식 수문형의 최대홍수유출은 3.25 m³/sec (경과시간 11:53분), 총 홍수량은 763 m³이고 월류형의 최대홍수유출은 1.425 m³/sec (경과시간 11:53분), 총 홍수량은 294 m³으로 나타났다. 월류형이 최대홍수유출에서 61 %, 총 홍수량에서 56 % 감소하는 특성을 보였다. 상향식 수문형의 우수저류조는 강우초기에 침수 방지에 필요한 유량 보다 많은 유량을 유입한 후 만수(09:11)되어 저지대 구역(m8, m10)에서 침수가 발생하는 결과를 보였다.

즉, 월류형이 우수관로 통수능력 활용성이 높고, 침수방지에 필요한 우수저류조 용량은 감소함을 알 수 있다.

Table 9. The Rainfall Response Characteristics of the Upward Watergate Type and the Overflow Inflow Type

Category		Buffer Area Runoff Quantity (m ³)	Rainfall Reservoir (12,000 m ³)		Flood Occurrence (m ³ /sec) (Time Passage)		
Inflow Type	Rainfall		Inflow Quantity (m ³)	Full Water Time (Time Passage)	Flood Place	Maximum Flood Runoff (m ³ /sec)	Total Flood (m ³)
Upward Watergate Type	1hr	7,149	10,266	-	sj7	0.304 (0:59)	196
	2hr	10,913	9,443	-	-	-	-
	3hr	9,485	6,376	-	-	-	-
	Typhoon NABI	36,364	1,802	-	-	-	-
	Typhoon Kong-rey	60,207	12,000	09:11	m1, m2, m3, m8, m10, sj4, sj7	3.25 (11:53)	763
Overflow Type	1hr	13,329	3,925	-	sj7	0.304 (0:59)	196
	2hr	16,703	2,615	-	-	-	-
	3hr	13,218	1,493	-	-	-	-
	Typhoon NABI	37,951	214	-	-	-	-
	Typhoon Kong-rey	65,338	7,319	-	m1, m2, m3, sj4, sj7	1.425 (11:53)	294

4.3 상향식 수문형과 월류형 자연압송식의 침수방지효과 비교 분석

4.3.1 해석조건

2018년도의 기록적인 이상강우(해오름관측소, 태풍 솔릭, 2018/8/22 18:15~8/23 18:14, 24시간, 976 mm)를 적용 연구지역의 침수방지대책을 수립하였다. 소유역 Ω 유출수 50 %는 소유역의 고저차를 이용 방류하천의 상류부 지선인 목골천으로 자연배수 시키며, 메인관로 시점부에 월류장치를 설치하여 자연압송식 배수 방법으로 맨홀펌프장 부지가 확보되는 도로변으로 이송 후 벌영천 상류로 배수하는 조건이다.

4.3.2 분석결과

Table 10은 이상강우에서 상향식 유입수문을 적용한 결과이다. 우수저류조 만수시간은 경과시간 05:05분에 발생, 최대 홍수유출은 $4.76 \text{ m}^3/\text{sec}$, 총 홍수량은 $31,668 \text{ m}^3$ 이다.

Table 11은 월류형을 적용한 우수저류조 유입과 자연-압송식 배수방법을 적용한 결과이다. 월류형 자연압송식 배수방법은 메인관로 시점부와 저지대에 적용하고, 우수저류조 유입부를 월류형으로 개량하였다. 우수저류조와 맨홀펌프장($V=225 \text{ m}^3$)의 배수펌프 양수량은 $0.5 \text{ m}^3/\text{sec}$, 맨홀펌프장은 벌영천 상류, 우수저류조는 괴시천으로 배수된다.

해석결과 우수저류조 만수시간의 경과시간은 07:42분, 최대홍수유출은 $3.81 \text{ m}^3/\text{sec}$, 총 홍수량은 $10,419 \text{ m}^3$ 이므로 분석되어 시설개선 효과는 최대 홍수유출 20 %감소, 총 홍수량은 67 %감소하는 효과를 보였다.

즉, 월류형 배수방법 적용으로 기존의 우수관경 확대가 어려운 지역의 우수배수가 가능하고 기존 시설물의 활용성이 증가하여 도시의 침수방지에 효과적임을 알 수 있다.

5. 결론

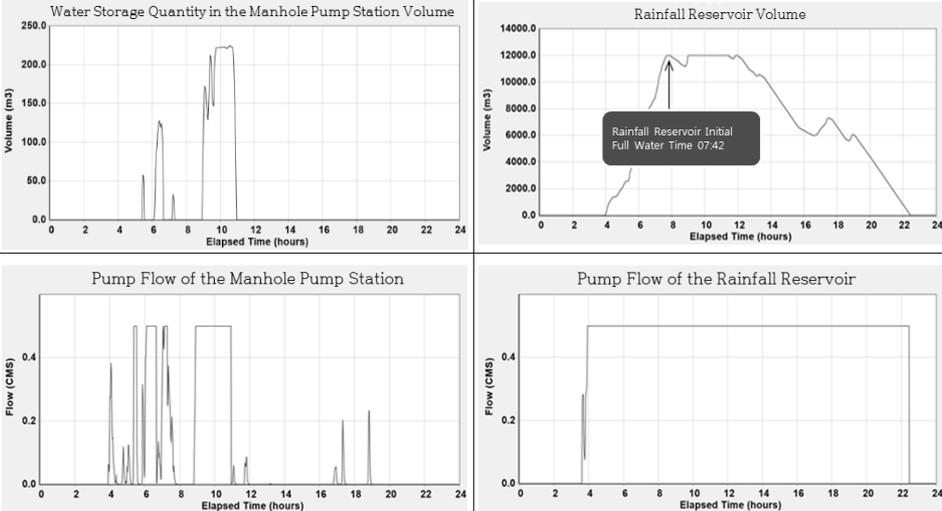
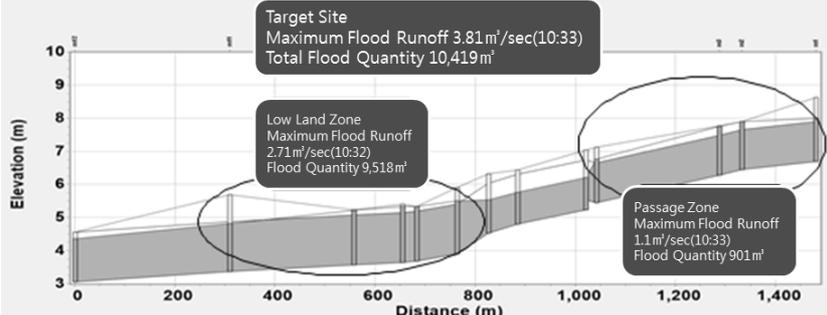
지구온난화의 영향으로 이상강수 발생빈도가 지속적으로 증가하고 있다. 또한 급격한 도시화 및 신규택지개발 사업이 활발히 진행됨에 따라 도심지 내 불투수층이 증가하여 강우로 인한 강우 유출량 또한 크게 증가하고 있는 실정이다. 이와 같은 유출량의 증가로 도심지 침수 피해가 빈번히 발생하고 있으며 이를 해결하기 위하여 GWI설치, 우수관경 확대 공사 등의 노력이 지속되고 있으나 그 효과는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 도시침수방지 대책수립을 위한 방법으로 월류형 우수저류조를 이용한 우수배수방법을 고찰하고, EPASWMM을 활용한 우수배수모델 구축하여 월류형 우수저류조의 침수방지 효과를 확인하였다.

Table 10. Flood Characteristics on the Abnormal Rainfall of the Upward Inflow Watergate Method

Category	Analysis Results	Remark
Continuity Error	<ul style="list-style-type: none"> Surface Runoff : 0.00 % Flow Routing : -0.07 % 	
Water Storage Results	<ul style="list-style-type: none"> Rainfall Reservoir ($12,000 \text{ m}^3$) Full Water Time: 05:05 Buffer Area Overflow Quantity: $292,434 \text{ m}^3$ 	
Runoff Quantity in the Research Region		<ul style="list-style-type: none"> Maximum Watershed Runoff: $10.27 \text{ m}^3/\text{sec}$ The Full Water Time of the Rainfall Reservoir: 05:05
Flood Runoff Quantity		<ul style="list-style-type: none"> Maximum Flood Runoff: $4.76 \text{ m}^3/\text{sec}$ Total Flood Quantity: $31,668 \text{ m}^3$

Table 11. The Response Characteristics of the Flooding Prevention Measure on the Overflow Type Water Discharge Method for the Abnormal Rainfall

Category	Analysis Results	Remark
Continuity Error	<ul style="list-style-type: none"> • Surface Runoff : 0.00 % • Flow Routing : -0.02 % 	
Establishment of the Water Discharge System		<ul style="list-style-type: none"> • Overflow Quantity of the Buffer Area 287,080 m³
Analysis Results		<ul style="list-style-type: none"> • Full Water Time of the Rainfall Reservoir: 07:42
Maximum Flooding State		<ul style="list-style-type: none"> • Maximum Flood Runoff: 3.81 m³/sec • Total Flood Quantity: 10,419 m³

그 결과 연구대상지의 GWI설치를 통한 홍수방지 효과는 총 유출량 기준 0.86~1.26 %감소에 불과한 것으로 나타났으나, 상향식 수문형 우수저류조와 월류형 우수저류조 설치를 비교 분석한 결과 태풍 콩레이의 강우사상에서 월류형 우수저류조 설치가 최대홍수유출을 61 %, 총 홍수량을 56 % 감소시키는 것으로 분석되었다.

월류형 우수저류조 및 자연-압송식 배수방법을 태풍 솔릭의 강우사상을 적용하였을 때 최대 홍수유출은 20 %감소, 총 홍수량은 67 % 감소하는 것으로 분석되었다.

따라서 결론은 월류형 우수배수 방법은 이상강우에 대한 침수방지 대책으로 기존 배수시설물의 활용성을 증가시키고 제한된 조건에서 경제적인 우수배수가 가능한 것으로 분석 되었다.

본 연구의 효과 분석 결과는 본 연구대상지에 한정되어 도출된 결과이나 향후 이상강우 발생에 따른 도시침수 방지 대책 수립 시, 본 연구방법 등을 적용하여 사전 해석 및 대책을 수립한다면 더욱 효과적인 방지 대책 수립이 가능하다고 판단된다.

References

- Ahn, J. H., Cho, W. C. and Jung, J. H. (2014). "Flood simulation for basin-shaped urban watershed considering surface flow." *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, KSCE, Vol. 34, No. 3, pp. 841-847 (in Korean).
- Ahn, J. H., Kim, K. W. and Cho, W. C. (2013). "Flooding risk assessment using flooding characteristic values." *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, KSCE, Vol. 33, No. 3, pp. 957-964 (in Korean).
- Ha, C. Y., Kim, B., Son, A. L. and Han, K. Y. (2018). "Accuracy improvement of urban runoff model linked with optimal simulation." *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, KSCE, Vol. 38, No. 2, pp. 215-226 (in Korean).
- Kang, S. J. and Kwon, T. J. (2017). "Spatial relations of the urban expansion intensity and flooded buildings." *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, KSCE, Vol. 37, No. 4, pp. 759-764 (in Korean).
- Kim, H. I., Keum, H. J. and Han, K. Y. (2018). "Estimation of inundation area by linking of rainfall-duration-flooding quantity relationship curve with self-organizing map." *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, KSCE, Vol. 38, No. 6, pp. 839-850 (in Korean).
- Kim, H. S., Hwang, J. Y., Ahn, J. H. and Jeong, C. S. (2018). "Analysis of rate of discharge change on urban catchment considering climate change." *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, KSCE, Vol. 38, No. 5, pp. 645-654 (in Korean).
- Kim, K. B., Kim, J. S. and Yoon, S. E. (2013). "A numerical modeling of surcharged manhole flow with the consideration of the energy loss coefficient." *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, KSCE, Vol. 33, No. 2, pp. 521-528 (in Korean).
- Lee, J. S. and Lee, S. E. (2018). "Development of urban flood risk maps for strengthening urban planning toward disaster prevention." *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, KSCE, Vol. 38, No. 2, pp. 203-213 (in Korean).
- Ministry of Public Administration and Safety (2017). *The standards on setting and operating the regional disaster prevention performance goal reflecting the future climate change* (in Korean).
- Rossman, L. A. and Huber, W. C. (2016). *Storm water management model reference manual volume I- Hydrology*, EPA., pp. 65-66.
- Rossman, L. A. (2015). *Storm water management model user's manual version 5.1*, EPA., pp. 104-117.
- Rossman, L. A. (2017). *Storm water management model reference manual volume II- Hydraulics*, EPA., pp. 35-37.
- Son, A. L., Kim, B. H. and Han, K. Y. (2015). "A study on prediction of inundation area considering road network in urban area." *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, KSCE, Vol. 35, No. 2, pp. 307-318 (in Korean).
- Song, C. G., Seo, I. W. and Jung, Y. J. (2013). "Reduction of rainfall runoff by constructing underground storage tank." *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, KSCE, Vol. 33, No. 3, pp. 927-935 (in Korean).
- Tak, Y. H., Kim, J. D., Kim, Y. D. and Kang, B. S. (2016). "A study on urban inundation prediction using urban runoff model and flood inundation model." *J. Korean Soc. Civ. Eng.*, KSCE, Vol. 36, No. 3, pp. 395-406 (in Korean).