



# 도시하천별 우수처리 용량과 수해 정책방향에 관한 연구<sup>\*,\*\*</sup>

: 서울시 사례를 중심으로

## The Runoff Carrying Capacity and the Policy Direction of Urban Local Stream

: The Case of Seoul, Korea

주진호<sup>\*\*\*</sup> · 김홍배<sup>\*\*\*\*</sup>

Joo, Jin-Ho · Kim, Hong-Bae

### Abstract

This paper aims to suggest a policy direction for reducing urban flood hazards. Specifically, the study establishes a runoff carrying capacity model that considers the openness of urban streams and applies it to the city of Seoul, Korea. The policy scenarios are presented and evaluated based on the results. The models presented in this paper accurately forecast 16 of 19 river basins. Moreover, policy scenarios for Seoul are suggested and assessed to mitigate flooding in the area. Thus, this paper demonstrates that expanding an alternative green area while simultaneously adjusting the slope of the local urban stream is an effective policy.

**주제어** 강우빈도, 투수층, 우수처리용량, 완충능력  
**Keywords** Rainfall Frequency, Pervious Surface, Runoff Carrying Capacity, Buffer Capacity

## 1. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

지구온난화에 따른 기후변화로 인해 집중호우 빈도가 잦아지면서 수해가 지속적으로 발생하고 있다(공혜림, 2017). 지난 10년간(2010~2019년) 수해로 인해 연평균 약 3,527억 원의 물적피해와 연평균 40명의 인적피해가 발생하였다. 중요한 점은 각 피해 규모가 자연재해에서 차지하는 각각 89%, 66%로 높은 비중을 차지하고 있다는 점이다(행정안전부, 2020). 강조하자면 홍수로 인한 피해가 자연재해에서 가장 크다는 것이다. 따라서 자연재해 저감정책은 수해를 중심으로 이루어져야 한다.

최근 발생하는 수해는 공간적으로 도시에 집중되고 있는데, 여기에는 크게 2가지 이유가 있다. 첫째, 도시지역에는 인구와 주요 시설이 집중되어 있기 때문이다. 환경부(2013)에 따르면, 도시지역 피해밀도는 3,763천원/km<sup>2</sup>로 비도시지역 2,053천원/km<sup>2</sup>에 비해 약 1.8배 높게 나타난다.

둘째, 도시지역은 비도시지역에 비해 불투수층 면적이 크기 때문이다. 환경부(2013)에 따르면 도시지역 평균 불투수율은 약 28%로 비도시지역이 7.9%인데 비해 3.5배 높게 나타난다. 이는 도시지역에 집중호우가 발생하면 유출량 증가하고, 홍수의 도달 시간을 감소시켜 수해 위험성이 가중됨을 가리킨다. 이러한 점에서, 수해 저감정책은 도시공간 차원에서 마련되어야 한다.

우리나라의 홍수 발생 요인은 크게 자연적 요인과 인위적 요인

\* 본 논문은 환경부 도시 생태계 서비스 통합 유지·관리 기술 개발사업의 연구비지원(2020002780001)에 의해 수행됨.  
\*\* 본 논문은 2020년 대한국토·도시계획학회 추계학술대회에서 발표 및 우수논문상을 수상한 논문을 수정·보완하여 작성함.  
\*\*\* Ph.D. Student, Department of Urban Engineering, Hanyang University (First Author: ju1431@hanyang.ac.kr)  
\*\*\*\* Professor, Department of Urban Engineering, Hanyang University (Corresponding Author: hokim@hanyang.ac.kr)

으로 구분된다. 전자는 집중호우와 하천의 개방성으로 인한 상류 유역에서 유입되는 물의 양을 의미한다. 반면 후자는 불투수층 증가, 녹지면적 감소, 방재시설 부족을 의미한다. 두 요인 중 첫 번째 요인은 전반적인 차원에서 정책이 필요하다. 그리고 인위적 요인은 도시적 차원의 정책이 마련되어야 한다.

효과적인 홍수 저감정책을 수립하기 위해서는 방재 시설물 측면과 제도적 측면 그리고 상류지역의 개방성 측면을 고려하여 수립해야 한다. 그러나 문헌을 살펴보면, 이 세 가지 요인을 구체적으로 고려한 연구는 매우 드문 실정이다. 앞에서 언급한 수해 관련 문헌들은 크게 세 부분으로 구분된다. 여기에는 수해 요인, 위험도 분석 그리고 수해 저감효과에 관한 연구가 있다. 연구내용 및 한계는 다음과 같이 요약된다.

첫째, 수해 요인 관련 연구들(최충익, 2004; 고태규·이원영, 2012; 신상영·박창열, 2014; 공혜림, 2017; 하경준·정주철, 2017)에서는 도시적 토지이용과 불투수층을 요인으로 제시하고 있다. 그러나 연구들은 제도적 관점에 초점이 맞추어짐에 따라 시설물적 측면과 하천의 개방성 측면에서 접근하지 못하였다.

둘째, 수해 위험도 관련 연구들(최충익, 2006; 손민수·박지영·김홍석; 2013, 이상혁·강정은, 2018; 신희재 외, 2019)은 수해 취약성을 통해 유형화하고, 이에 대한 방안을 제시하고 있다. 그러나 이들은 지역의 개방성에 따른 상류지역에서 유입되는 홍수량을 고려하지 못하였다.

끝으로, 수해 저감 관련 연구들(안태진 외, 2008; 배상원; 2012; 최수웅, 2013; 이동우, 2014; 박준오, 2018, 황준식, 2018)은 그린인프라와 천변 저류지 그리고 LID시설 설치에 따른 홍수 저감효과를 분석하였다. 그러나 이들은 주로 단일 시설물의 효과에 중점을 두고 있어, 제도적 측면의 대책 마련에 있어 한계가 있다.

종합하면, 관련연구들이 단일 대책과 이에 대한 효과에 초점을 둬에 따라 수해를 종합적 측면에서 다루지 못한 것이 본 논문의 배경이 되었으며, 목적은 다음과 같다. 도시하천의 개방성을 고려한 최대 우수처리용량 모형을 개발하고, 이를 서울시에 적용하여 효과적인 홍수저감 정책을 제시하는 것이다.

본 논문은 총 4절로 구성된다. 2절에서는 강우빈도별 범람여부를 평가할 수 있는 최대 우수처리용량 모형을 구축한다. 3절은 정책의 시나리오를 설정하고, 모의실험을 통해 수해 저감효과를 분석하며, 정책 방향을 제시한다. 마지막 절에서는 논문의 내용을 종합하여 요약하고, 논문의 한계를 제시한다.

## II. 모형

모형은 크게 세 부분으로 구성된다. 첫 번째 부분은 최대 우수처리 용량의 기준을 설명하는 부분이다. 여기서 사용되는 기준을 통해 홍수발생 여부를 판단한다. 두 번째 부분은 우수유출량을

추정하는 부분이다. 추정된 데이터는 모형의 종속변수로써 활용된다. 그리고 마지막 부분에서 하천의 최대 우수 처리용량 모형을 구축한다.

### 1. 최대 우수처리 용량

홍수는 기본적으로 하천의 최대 우수처리 용량수준보다 많은 물이 일시에 하천으로 유입될 때 홍수가 발생한다. 하천 내로 유입된 물의 총량은 상류에서 유입되는 양과 지역 내에서 유입되는 양으로 결정된다. 유입된 총량 중 일부는 하천으로 흐르고, 나머지는 지하로 흡수되거나 공기 중으로 증발하게 된다. 따라서 하천의 최대 우수처리용량은 다음 식 (1)과 같이 표현된다.

$$Q_i^{r,k} = Q_i^r - Q_i^{r, in flow} = Q_i^{r, out flow} \quad (1)$$

- $Q_i^{r,k}$ : 지역 r내 하천 i의 최대우수처리 용량,
- $Q_i^r$ : 지역 r내 하천 i의 설계용량,
- $Q_i^{r, in flow}$ : 지역 r내 하천 i의 상류 유입량,
- $Q_i^{r, out flow}$ : 지역 r내 하천 i의 평시 유출량.

여기서 수해를 저감시키기 위해서는 <그림 1>에서 보이듯이 강우빈도별 최대 우수처리 용량이 결정되어야 한다. 결정된 우수처리 용량은 정책의 목표로서 활용된다. 구체적으로 50년 빈도의 강우발생 시, 하천의 최대 우수처리용량을 초과하여 홍수가 발생한다.

수해는 식 (2)와 같이 지역 r내 하천 i의 물의 양이 하천의 최대 우수처리용량보다 큰 경우에 발생한다.

$$Q_i^{r,k} \begin{cases} > \\ = \\ < \end{cases} Q_i^r \leftrightarrow \text{홍수} \begin{cases} \text{발생} \\ \cdot \\ \text{미발생} \end{cases} \quad (2)$$

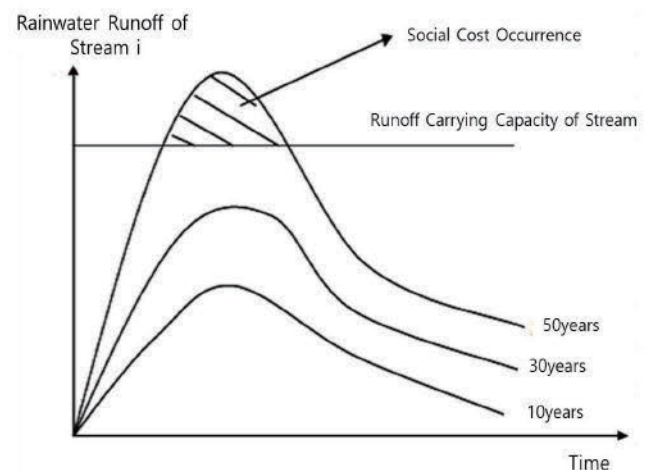


Figure 1. Flooding occurrence by rainfall event



하천의 최대 우수처리용량 모형을 구축하기 위해서는 우수유출량 추정이 필요하다. 이에 관해서는 다음 내용에서 설명하도록 한다.

### 2. 우수유출량 추정

하천의 우수유출량은 수위-유량곡선을 바탕으로 추정할 수 있다. 그러나 서울시의 모든 하천에 유량 곡선식이 마련되어 있지 않으므로, 우수유출량을 추정하기 어렵다. 따라서 우수유출량을 추정하는 모형이 필요하다. 일반적으로 우수유출량 추정을 위한 모형은 합리식, Chicago 수문곡선법, RRL 방법 등이 있다. 그러나 해당 모형들은 서울시와 같은 대규모 지역보다 소규모의 특정지역 유출량 해석에 적합하다(김문모·이종태, 2005). 이에 본 논문은 하천의 수위자료를 이용해 유출량을 추정할 수 있는 등류 공식을 사용하였으며, 이는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$Q_i^r = \frac{A_i^r}{n_i^r} (R_i^r)^{2/3} (S_i^r)^{1/2}, \quad (3)$$

$Q_i^r$ : 지역  $r$ 내 하천  $i$ 의 우수유출량,  
 $A_i^r(n_i^r)$ : 지역  $r$ 내 하천  $i$ 의 하천의 단면적(매닝계수),  
 $R_i^r(S_i^r)$ : 지역  $r$ 내 하천  $i$ 의 수리반경(수리경사).

위 식에서 하천의 단면적은 식 (4)를 이용하여 계산하였으며, 이때 하천 바닥면적은 인공위성 자료를 이용해 측정한다.

$$A_i^r = (b_i^r + z_i^r y_i^r) y_i^r, \quad (4)$$

$b(z, y)$ : 하천의 바닥면적(측면경사, 수심).

하천의 수리반경  $R$ 을 구하는 과정은 다음 식 (5)와 같이 표현된다.

$$R_i^r = \frac{A_i^r}{P_i^r}, P_i^r = b_i^r + 2y_i^r \sqrt{1+(z_i^r)^2} \quad (5)$$

$P_i^r$ : 지역  $r$ 내 하천  $i$ 의 윤변.  
 (여기서 말하는 윤변이란 수로 단면에서 물과 경계면이 맞닿는 경계선의 길이를 의미한다).

추정된 우수유출량은 다음 내용에서 하천의 최대 우수처리용량 모형을 결정하는 변수로 사용된다.

### 3. 최대 우수처리 용량 모형

도시하천의 최대 우수처리 용량 모형은 경사도, 녹지면적 그리

고 강수량의 함수이다. 이때 함수는 Cobb-Douglas 형태를 가정하였다(최홍석, 2003; 하경준·정주철, 2017). 즉 하천의 우수처리 용량 모형에 영향을 미치는 요소를 경사도, 녹지면적, 강수량 그리고 상류 유입량으로 결정하였다. 이를 바탕으로 강우 시에 각 하천의 우수유출량을 추정하게 된다. 여기서 추정된 모형은 최대 우수처리용량을 초과하지 않도록 각 변수를 조절할 수 있게 하였다. 여기서 파라미터를 추정하기 위한 식은 식 (6)과 같이 표현된다.

$$Q_i^r = (GREEN_i^r)^\alpha \cdot (RAIN_i^r)^\beta \cdot (GRADE_i^r)^\gamma \cdot (FLOW_i^r)^\delta, \quad (6)$$

$Q_i^r$ : 지역  $r$ 내 하천  $i$ 구역의  $km^2$ 당 1시간 우수유출량,

$GREEN_i^r(RAIN_i^r)$ : 지역  $r$ 내 하천  $i$ 구역의 녹지면적,  
 (1시간 강수량)

$GRADE_i^r(FLOW_i^r)$ : 지역  $r$ 내 하천  $i$ 구역의 평균 경사도,  
 (상류유입량)

## III. 모형 결정 및 적용

본 절은 모형의 결정과 적용하는 부분으로 모형을 결정하고 적용하는 내용이다. 그리고 정책 시나리오를 설정하여 모의 실험을 한다. 실험 결과를 통해 수해 저감효과를 분석하고, 서울시 수해 저감정책 방향을 제시한다.

### 1. 분석 자료와 대상

최대 우수처리 용량모형을 구축하기 위해서는 각 하천별 수위 데이터가 필요한데, 하천별 수위측정지점은 <표 1>과 같다.

분석에 사용된 자료의 시간적 범위는 2018년이며, 사용된 자료 및 출처는 <표 2>와 같다. 여기서 선정된 자료들은 다음 내용에서 식의 변수로 활용된다.

### 2. 모형 결정 및 평가

앞에서 최대 우수처리용량 모형을 위한 식을 기초로 모형을 결정하였으며, 이는 식 (7)과 같이 표현된다. 여기서 종속변수는  $km^2$ 당 1시간 우수유출량이며, 독립변수는 강수량, 경사도, 녹지면적 그리고 상류 유입량으로 결정하였다.  $t$ 값은 모든 변수에서 유의하게 나타났고, 자기상관 및 다중공선성은 발견되지 않았다.

$$\ln Q^r = 5.652 - 2.911 \ln green_i^r + 0.936 \ln grade_i^r \quad (7)$$

$$(2.45) \quad (6.57) \quad (2.01)$$

$$+ 1.216 \ln rain_i^r + 0.753 \ln flow_i^r$$

$$(2.75) \quad (1.97)$$

$$t\text{ 값} = ( ), \quad R^2 = 0.875.$$

**Table 1.** Stream and water level measurement point

Stream	Water level measurement point	Stream	Water level measurement point
Dorimcheon	Dorimgyo	Jeongneungcheon	Yongdogyo
	Shindaebang		Sungdonggyo
Banpocheon	Banpochoen	Jungrangcheon	Shineuigyo
Banghakcheon	Moraemalgyo		Nowongyo
Bulgwnagcheon	Jeungsangyo	Chunggyecheon	Majanggyo 2
Seoungnaecheon	Seoungnaecheon		Tancheongyo 2
Anyangcheon	Anyangcheon (estuary)	Tancheon	Daegokgyo
	Gocheokgyo		Youngdonggyo 2
	Giadaegyo		
Uicheon	Jangwolgyo	Hongjaecheon	Sungsangyo 2

**Table 2.** Data and source

Data	Sources
Water level	Confidential document in seoul city
Land cover ratio	Statistical yearbook and land coverage in Seoul city and Gyeonggi province
Slope (first and second rate stream)	Ministry of land, infrastructure and transport 「river design water surface slope measurement」
Inflow and outflow of upper Stream	Confidential document in seoul city and han river flood control office
Rainfall probability in seoul city	The meteorological agency
The maximum rainfall (Observed)	The meteorological agency

이렇게 결정된 식 (7)을 이용하면 강우빈도별 홍수발생 지역을 예측하고, 이에 대한 수해 저감정책을 수립할 수 있다. 예를 들어 서울시 도림교 유역의 녹지면적과 평균경사도 그리고 50년 빈도의 강우가 발생할 경우 강우에 따른 홍수발생을 예측하였다.

이를 위해서 먼저 식 (7)의 각 변수에 도림교 유역의 녹지면적과 평균경사도 그리고 50년 빈도 강우량인 91.5mm의 자료를 대입하여 도림교 유역의 하천으로 한 시간 동안 유입된 빗물의 양을 추정한다. 그리고 추정된 하천의 우수유입량과 도림교 지점의 우수처리용량을 이용해 하천의 수해 발생유무를 결정하게 된다. 마찬가지로 수해 저감방안은 식 (7)에서 인위적 조절인 가능한 도림교 하천유역의 녹지면적의 민감도 분석을 제시한다.

홍수를 대비하기 위한 각 하천의 수위는 크게 계획홍수위와 경제홍수위 그리고 위험수위로 구분된다. 본 논문에서는 최대 우수처리용량의 설계기준이 되는 하천의 최대 높이를 위험수위로 한

다. 여기서 위험수위는 계획홍수량의 100분의 70에 해당하는 수위이며, 우수유출량이 위험수위를 초과하는 경우라고 가정한다.

또한 서울시 강우강도 식을 통해 확률강우량을 측정한다. 연구 대상지인 경기도 일부지역(의정부시, 안양시, 성남)은 강우강도 식이 존재하지 않는다. 따라서 인접지역인 서울시 강우강도 식을 사용하였다. 이 식은 홍수방재 관련기관의 연도별, 지역적 강우 특성을 통해 산정된다. 강우강도 식을 적용하여 산출된 확률강우량은 <표 3>과 같다.

산정된 식을 바탕으로 홍수발생을 예측하고 이를 평가한 결과는 <표 4>와 같다. 분석 결과, 제2마장교와 영동 2교 그리고 도림교가 예측과 다르게 나타났으며, 그 원인은 다음과 같다.

첫째, 제2마장교는 높은 수준의 최대 우수처리 용량에도 불구하고, 상류에 위치한 용두교의 영향으로 홍수가 발생하는 것으로 보인다. 둘째, 영동2교는 낮은 수준의 최대 우수처리 용량으로 인해 홍수가 발생한 것으로 판단된다. 끝으로, 도림교는 낮은 수준의 우수처리 용량과 안양천 하구에서 유입되는 물의 양 때문에 홍수가 발생한 것으로 보인다.

종합하면, 본 논문에서 사용된 모형은 총 19곳의 하천유역 중 16개 유역을 정확하게 예측하였다. 따라서 하천의 우수처리 용량 모형 기반의 시나리오 분석은 적절한 것으로 판단된다. 이와 관련한 구체적 사항은 다음 내용에서 설명된다.

## 2. 정책 시나리오 설정

앞에서 예측한 자료를 바탕으로 수해 저감을 위한 정책 시나리오를 설정한다. 정책 시나리오는 기본적으로 하천의 완충능력을 향상시키는 것이다. 분석대상은 실제와 예측이 모두 발생으로 평가된 8개 유역이다. 왜냐하면 강우 발생 시 홍수발생 위험도가 상대적으로 높기 때문이다. 이에 다음과 같이 세 가지 정책 시나리오를 구성한다.



**Table 3.** Result of actual precipitation and probability precipitation in seoul city (Unit: mm)

Frequency	Time	1	2	3	6	24
	5-year		63.5	93.5	115.6	151.5
Probability rainfall	10-year	72.6	108.6	136.2	180.9	285.6
	20-year	81.0	122.7	155.9	209.7	337.9
	30-year	85.7	130.6	167.2	226.7	369.1
	50-year	91.5	140.4	181.4	248.2	409.3
	100-year	99.0	153.3	200.6	277.7	465.8
	200-year	106.2	165.9	219.8	307.9	524.8
	Gangnam	44.0	48.5	51.0	53.5	53.5
Gangdong	40.5	52.0	60.0	74.0	81.0	
Gangbuk	45.0	88.5	118.0	160.5	173.0	
Gangseo	65.5	75.0	82.0	101.0	114	
Gwanak	27.0	51.5	66.0	86.5	102.5	
Gwangjin	34.5	46.0	57.0	75.5	86.0	
Guro	32.0	48.5	64.0	83.0	96.0	
Geumcheon	26.0	42.5	58.5	94.0	115.0	
Nowon	58.5	73.5	81.5	81.5	81.5	
Dobong	76.0	121.5	128.5	137.5	138.5	
Dongdaemoon	43.0	69.5	84.0	101.5	112.0	
Actual rainfall	Dongjak	33.0	51.0	61.0	83.5	101.5
	Mapo	32.0	35.5	37.0	38.5	39.0
	Seodaemoon	34.5	38.0	41.0	42.0	44.0
	Seocho	27.5	44.0	57.0	82.0	96.5
	Sungdong	35.0	37.5	39.0	40.5	40.5
	Sungbuk	35.5	66.5	91.0	124.0	135.0
	Songpa	36.0	48.0	59.5	74.5	86.0
	Yangcheon	32.0	35.5	37.0	39.0	40.5
	Youngdeungpo	30.0	32.5	33.5	35.0	36.5
	Yongsan	35.0	38.5	40.0	42.5	43.0
	Eunpyeong	53.0	78.5	98.0	141.5	156.5
	Jung-gu	23.0	29.5	29.5	29.5	29.5
	Jungrang	39.5	68.0	85.0	101.5	111.0

Source: WAMIS and meteorological agency

- 정책 시나리오 1: 완충능력 향상(도시 내 녹지면적을 확대하는 방안)
- 정책 시나리오 2: 경사도를 조절하는 방안
- 정책 시나리오 3: 녹지면적 확대와 경사도 조절을 동시에 진행하는 방안

여기서 강우빈도는 사회적 비용이 발생하는 50년 빈도로 가정

하는데, 이는 2018년 실제 강우량을 기반으로 설정한 것이다. 시나리오별 분석결과는 <표 5>에서 제시하며, 이에 대한 구체적인 내용은 다음과 같다.

시나리오 1은 완충력을 향상시키는 방안으로 제도적 방안이다. 이는 녹지면적을 각각 5%, 7%씩 확대하여, 홍수저감 효과를 검토하는 방안이다. 여기서 5%와 7%는 홍수피해가 발생하지 않는 지점을 의미한다. 시나리오1 분석결과, 성산 2교 유역은 녹지면적 7% 확대에도 불구하고 홍수가 발생하였다. 반면 반포천과 대곡교 유역은 5% 미만의 녹지 확대만으로도 홍수가 발생하지 않는 것으로 나타난다.

시나리오 2는 경사를 조절하여 시간당 우수유출량을 저감시키는 방안으로, 시설물적 방안이다. 시나리오 2를 적용한 결과, 대곡교 유역은 홍수가 발생하지 않는 것으로 나타난다. 또한 경사도 조정으로 인한 유출량저감 효과는 크지 않은 것으로 판단된다.

시나리오 3은 녹지면적 확대와 경사도 조절을 동시에 진행하는 방안으로, 종합적 측면의 방안이다. 여기서 성산 2교 유역은 7%의 녹지확대와 1:2.5의 경사도 조절이 동시에 진행되어야 홍수가 발생하지 않는 것으로 나타난다.

종합하면, 정책 시나리오를 구성하여 하천의 홍수 저감효과를 분석한 결과는 <표 5>와 같다. 여기서 홍수 저감효과 측면만을 고려하면 시나리오 3이 가장 효과적인 것으로 판단된다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구는 도시하천별 홍수발생을 예측하고, 홍수가 예상된 지역을 대상으로 가장 효과적인 방안을 제시한다. 기존 연구들과 차별성은 상류유역의 유입량을 고려한 점과 종합적 측면에서 수해 정책방향을 제시한 점이다. 여기서 전자는 하천 유역단위의 방재정책을 제시한다는 측면에서 중요하다. 후자는 수해 저감정책을 종합적으로 제시하였다는 측면에서 의의가 있다.

여기서 사용된 모형은 총 19개 하천 유역 중 16개를 정확하게 예측하였다. 구체적으로 전체 19개의 하천유역 중 제2마장교, 영동 2교 그리고 도림교만이 예측과 다름을 파악하였다. 따라서 모형을 기반으로 정책 시나리오 분석이 가능하다고 판단하였다. 정책 시나리오에 사용되는 강우빈도는 사회적 비용이 발생하는 시점인 50년 빈도를 가정한다.

정책 시나리오별 분석결과, 시나리오 3이 수해 저감에 가장 효과적인 것으로 나타난다. 이는 토지이용 상 녹지면적을 확대하는 방안과 하천 유역의 경사도를 조절하는 방안을 종합적으로 고려한 대안이다. 분석에서 특기할 만한 점은 다음과 같다. 성산 2교 유역은 다른 곳에 비해 상대적으로 많은 녹지면적이 필요함을 알 수 있었다. 또한 반포천과 대곡교 유역은 5% 녹지면적 확대와 1:2.0 경사도 조절만으로도 홍수가 발생하지 않는다.

이를 바탕으로 제시하는 도시하천별 수해 정책방향을 다음과

Table 4. The prediction of flooding and model evaluation

(Unit: m<sup>3</sup>/sec)

Watershed	Maximum runoff carrying capacity	Overflow	Occurrence of floods		Model evaluation
			Actual	Predicted	
Dorimgyo	95.5	58.8	Unincurred	Incurred	Mismatch
<b>Shindaebangyeok</b>	<b>311.0</b>	<b>45.9</b>	<b>Incurred</b>	<b>Incurred</b>	Match
<b>Banpocheon</b>	<b>556.3</b>	<b>25.2</b>	<b>Incurred</b>	<b>Incurred</b>	Match
<b>Moraemalgyo</b>	<b>98.6</b>	<b>130.5</b>	<b>Incurred</b>	<b>Incurred</b>	Match
Jeungsangyo	402.1	0	Unincurred	Unincurred	Match
Seoungnae choen	386.2	0	Unincurred	Unincurred	Match
Anyangcheon (estuary)	2,056.6	0	Unincurred	Unincurred	Match
Gocheokgyo	1,525.2	0	Unincurred	Unincurred	Match
Giadaegyo	1,549.6	3.1	Unincurred	Unincurred	Match
Jangwolgyo	215.9	0	Unincurred	Unincurred	Match
Yongdogyo	386.2	0	Unincurred	Unincurred	Match
<b>Sungdonggyo</b>	<b>720.9</b>	<b>120.2</b>	<b>Incurred</b>	<b>Incurred</b>	Match
<b>Shinyuigyo</b>	<b>520.2</b>	<b>95.2</b>	<b>Incurred</b>	<b>Incurred</b>	Match
<b>Nowongyo</b>	<b>873.6</b>	<b>81.5</b>	<b>Incurred</b>	<b>Incurred</b>	Match
Majanggyo 2	356.2	56.7	Unincurred	Incurred	Mismatch
Tancheon 2	2,010.6	0	Unincurred	Unincurred	Match
<b>Daegokgyo</b>	<b>535.3</b>	<b>10.3</b>	<b>Incurred</b>	<b>Incurred</b>	Match
Youngdonggyo 2	174.5	24.6	Unincurred	Incurred	Mismatch
<b>Sunsangyo 2</b>	<b>540.2</b>	<b>131.2</b>	<b>Incurred</b>	<b>Incurred</b>	Match

같다. 효과적인 수해 저감을 위해서는 시설물적 방안과 제도적 측면의 방안을 동시에 수행해야 한다. 이는 시설물 측면과 제도적 측면의 정책을 각각 수행하는 것보다 종합적으로 수행하는 것이 효과적임을 가리킨다.

본 연구는 서울시를 대상으로 수해와 도시의 형태 그리고 토지 이용에 관한 관계를 분석한 기초적이고 거시적인 연구이다. 이를 통해 수해발생에 대한 이해를 향상시키고자 하였다.

연구의 한계는 다음과 같다. 도시지역의 수해요인은 내수침수가 하천범람에 비해 상대적으로 크게 작용한다. 그러나 본 연구는 자료구득의 한계로 인해 하천범람을 중심으로 연구를 수행하였다. 그리고 수해저감을 위한 정책변수로 녹지면적과 경사도를 제시하였다. 정책의 실현가능성 측면을 고려하면, 모형에 대한 확장과 녹지면적 확보 그리고 경사도 조절을 위한 구체적 방안에 대한 연구가 필요하다.

인용문헌  
References

- 고태규·이원영, 2012. “저지대 홍수피해 저감을 위한 도시계획기법 연구”, 『서울도시연구』, 13(4): 287-300.
- Ko, T.G. and Lee, W.Y., 2012. “A Study on Urban Planning Techniques for Flood Reduction in the Lowlands”, *Seoul Studies*, 13(4): 287-300.
- 공혜림, 2017. “토지이용특성에 따른 불투수면 비율 변화”, 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 석사학위논문.
- Kong, H.L., 2017. “A Study on the Change of Impervious Area Ratio by the Land Use”, Master Dissertation, Seoul National University.
- 김문모·이종태, 2005. “도시 홍수 재해 관리; 도시 유출모형의 특성 및 활용방안”, 『대한토목학회지』, 53(9): 21-28.
- Kim, M.M. and Lee, J.T., 2005. “Management of Flood Disasters in Urban Areas; Characteristics of Urban Runoff Model and Its Application”, *Korean Society of Civil Engineers Journal of Civil Engineering*, 53(9): 21-28.
- 박준오, 2018. “SWMM모형을 이용한 도시하천 유역 내 LID기법이 유출저감에 미치는 영향 분석”, 서울대학교 대학원, 석사학위논문.
- Park, J.O., 2018. “Analysis of Influence of LID Technique on Runoff Reduction in Urban Stream Watershed Using SWMM Model”, Master Dissertation, Seoul National University.
- 배상원, 2012. “SWMM5를 이용한 저영향개발의 홍수저감효과 분석”, 연세대학교 공학대학원 석사학위논문.
- Bae, S.W., 2012. “Flood Reduction Analysis on Watershed



Table 5. Comparison of flooding occurrence by scenario

Watershed	Rainfall frequency	Design frequency	Maximum runoff carrying capacity	Scenario 1			Scenario 2			Scenario 3		
				5% extend	7% extend	1:2.0 adjust	1:2.5 adjust	5% extend & 1:2.0 adjust	5% extend & 1:2.5 adjust	7% extend & 1:2.0 adjust	7% extend & 1:2.5 adjust	
Shindaebang	50-year	50-year	311.0	Incurred	Unincurred	Incurred	Incurred	Incurred	Incurred	Unincurred	Unincurred	
Banpocheon	50-year	50-year	556.3	Unincurred	Unincurred	Incurred	Unincurred	Unincurred	Unincurred	Unincurred	Unincurred	
Moraernalgyo	50-year	50-year	98.6	Incurred	Unincurred	Incurred	Incurred	Incurred	Incurred	Unincurred	Unincurred	
Sungdonggyo	50-year	50-year	720.9	Incurred	Unincurred	Incurred	Incurred	Incurred	Incurred	Unincurred	Unincurred	
Shinyuigo	50-year	50-year	520.2	Incurred	Unincurred	Incurred	Incurred	Incurred	Incurred	Unincurred	Unincurred	
Nowongyo	50-year	50-year	873.6	Incurred	Unincurred	Incurred	Incurred	Incurred	Incurred	Unincurred	Unincurred	
Daegokgyo	50-year	100-year	535.3	Unincurred	Unincurred	Unincurred	Unincurred	Unincurred	Unincurred	Unincurred	Unincurred	
Sunsangyo 2	50-year	50-year	540.2	Incurred	Incurred	Incurred	Incurred	Incurred	Incurred	Incurred	Unincurred	

(Unit: m<sup>3</sup>/sec)

of Low Impact Development(LID) Using SWMM5: Jangjae Stream Watershed”, Master Dissertation, Yeonsei University.

6. 손민수·박지영·김홍석, 2013. “서울시 도시환경의 홍수 위험도 평가”, 『서울도시연구』, 14(4): 127-140.  
Son, M.S., Park, J.Y., and Kim, H.S., 2013. “Urban Environmental Risk-Evaluating Flooding Risk Indices of Seoul”, *The Seoul Institute Seoul Studies*, 14(4): 127-140.
7. 신상영, 2014. “자연재해 저감을 위한 도시계획의 개선방향”, 『부동산 포커스』, 70(1): 4-15.  
Shin, S.Y., 2014. “Directions for Improvement of Urban Planning for Natural Disasters”, *Real Estate Focus*, 70(1): 4-15.
8. 신상영·박창열, 2014. “토지이용 특성과 침수피해면적 간의 관계 분석: 서울시 사례로”, 『국토연구』, (81): 3-20.  
Shin, S.Y. and Park, C.Y., 2014, “Analyzing Relationships between Land Use Characteristics and Flood Damage Areas: The Case of Seoul”, *The Korea Spatial Planning Review*, (81): 3-20.
9. 신희재·최영제·이재웅, 2019. “지역적 특성을 고려한 도시지역 홍수 취약성 평가: 한강권역을 대상으로”, 『한국방재학회논문집』, 19(5): 293-303.  
Shin, H.J., Choi, Y.J., and Yi, J.E., 2019. “Analysis of the Local Characteristics of Flood Damage Vulnerability in an Urban Area: The Han River Basin”, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 19(5): 293-303.
10. 안태진·강인웅·백천우, 2008. “수문학적 홍수저감효과 기반의 천변저류지 최적위치 선정을 위한의사결정모형의 개발”, 『한국수자원학회 논문집』, 41(7): 725-735.  
Ahn, T.J., Kang, I.W., and Baek, C.W., 2008. “Development of Decision Making Model for Optimal Location of Washland based on Flood Control Effect estimated by Hydrologic Approach”, *Journal of Korea Water Resources Association*, 41(7): 725-735.
11. 이동우, 2014. “도시그린인프라의 구성과 홍수 저감능력간의 관계 분석에 관한 연구: 서울시 소유역을 대상으로”, 한양대학교 대학원 박사학위논문.  
Lee, D.W., 2014. “An Analysis of the Relationship between the Flood Mitigation Capability of Urban Green Infrastructures and Their Configuration: For the Cases of Wubwatershed Areas in Seoul”, Ph.D. Dissertation, Hanyang University.
12. 이상혁·강정은, 2018. “도시계획 적용을 위한 도시홍수 취약성 및 리스크 평가”, 『국토계획』, 53(5): 185-206.  
Lee, S.H. and Kang, J.E., 2018. “Urban Flood Vulnerability and Risk Assessments for Applying to Urban Planning”, *Journal of Korea Planning Association*, 53(5): 185-206.
13. 최수용, 2013. “강우의 불균일성과 저류지의 연결상태에 따른 집중형 저류지와 분산형 저류지의 홍수저감 효과 비교”, 서울대학교 대학원, 석사학위논문.  
Choi, S.W., 2013. “Comparison of Flood Mitigation Effects between Centralized and Decentralized Storages Based on Storage Networks and Non-uniform Rainfall”, Master Dissertation, Seoul National University
14. 최충익, 2004. “패널모형에 의한 도시지역 수해결정요인 분석”, 『국토계획』, 39(7): 49-67.  
Choi, C.I., 2004. “Panel Models about Determining Factors of Urban Flood Damages”, *Journal of Korea Planning Association*,

- 39(7): 49-67.
15. 최충익, 2006. “전국 홍수위험도 평가의 국토도시계획적 함의”, 「국토계획」, 41(4): 143-155.  
Choi, C.I., 2006. “Implications of the Flood Risk Assessment in Urban and Regional Planning”, *Journal of Korea Planning Association*, 41(4): 143-155.
  16. 최홍석, 2003. “도시 하천의 우수 처리 용량 산정과 홍수 방재대책에 관한 연구”, 한양대학교 대학원 석사학위논문.  
Choi, H.S., 2003. “Runoff Carrying Capacity Estimation of Urban Stream and Policy Analysis of the Flood Disaster Prevention: The Case of Seoul, Korea”, Master Dissertation, Hanyang University,
  17. 하경준·정주철, 2020. “도시화와 강우량이 도시홍수 피해에 미치는 영향에 관한 연구”, 「국토계획」, 52(4): 237-252.  
Ha, K.J. and Jung, J.C., 2020. “The Impact of Urbanization and Precipitation on Flood Damages”, *Journal of Korea Planning Association*, 52(4): 237-252.
  18. 행정안전부, 2020. “재해연보”.  
Ministry of the Interior and Safety, 2020, “Disaster Yearbook”.
  19. 황준식, 2018. “지속가능한 도시홍수저감에 대한 연구: 그린인프라와 배수관망을 중심으로”, 영남대학교 대학원 건설시스템공학과 박사학위논문.  
Hwang, J.S., 2018. “Green Infrastructure and Drainage Network Layoutfor Sustainable Urban Flood Mitigation”, Ph.D. Dissertation, Yeungnam University.

Date Received	2021-03-09
Reviewed(1 <sup>st</sup> )	2021-05-31
Date Revised	2021-06-09
Reviewed(2 <sup>nd</sup> )	2021-06-23
Date Accepted	2021-06-23
Final Received	2021-07-06