

ORIGINAL ARTICLE

# SWMM 기반 SRTM-DEM을 활용한 강우-유출 모의 가능성 평가

김미래<sup>1,2)</sup> · 강준석<sup>1,3,4)\*</sup>

<sup>1)</sup>서울대학교 대학원 협동과정 조경학, <sup>2)</sup>기상청 기후과학국 수문기상팀, <sup>3)</sup>서울대학교 조경·지역시스템공학부,

<sup>4)</sup>서울대학교 농생명과학연구원

## Assessment of Feasibility of Rainfall-Runoff Simulation Using SRTM-DEM Based on SWMM

Mirae Kim<sup>1,2)</sup>, Junsuk Kang<sup>1,3,4)\*</sup>

<sup>1)</sup>Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

<sup>2)</sup>Hydrometeorology Team, Climate Science Bureau, Korea Meteorological Administration, Daejeon 35208, Korea

<sup>3)</sup>Department of Landscape Architecture and Rural Systems Engineering, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

<sup>4)</sup>Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

### Abstract

The recent increase in impermeable surfaces due to urbanization and the occurrence of concentrated heavy rainfall events caused by climate change have led to an increase in urban flooding. To predict and prepare for flood damage, a convenient and highly accurate simulation of rainfall-runoff based on geospatial information is essential. In this study, the storm water management model (SWMM) was applied to simulate rainfall runoff in the Bangbae-dong area of Seoul, using two sets of topographical data: The conventional topographic digital elevation model (TOPO-DEM) and the proposed shuttle radar topography mission (SRTM)-DEM. To evaluate the applicability of the SRTM-DEM for rainfall-runoff modeling, two DEMs were constructed for the study area, and rainfall-runoff simulations were performed. The construction of the terrain data for the study area generally reflected the topographical characteristics of the area. Quantitative evaluation of the rainfall-runoff simulation results indicated that the outcomes were similar to those obtained using the existing TOPO-DEM. Based on the results of this study, we propose the use of SRTM-DEM, a more convenient terrain data, in rainfall-runoff studies, rather than asserting the superiority of a specific geospatial data.

**Key words** : SRTM-DEM, SWMM, Digital elevation model, Geospatial data, Urban disaster prevention, Rainfall-runoff simulation, Urban environment plan

### 1. 서론

국내 도시화 및 산업화는 급속한 도시개발을 불러일으켰고 그에 따라 불투수면적이 증가 되었다. 불투수면

적 증가는 도시 기온 상승, 하천의 건천화, 지하수함양 감소, 도시 지역 내 홍수피해 증가, 생태계 서식지 파괴 등의 피해를 유발할 수 있다(Oh et al., 2010). 또한, 기후변화로 인한 이상기후로 집중호우 발생빈도가 잦아

Received 22 March, 2024; Revised 12 June, 2024;

Accepted 14 June, 2024

\*Corresponding author : Junsuk Kang, Department of Landscape Architecture and Rural Systems Engineering, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

Phone : +82-2-880-2228

E-mail : junkang@snu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

지며 집중호우로 인한 피해 사례가 증가하고 있다. 기후 변화로 인한 자연재해 발생 건수는 증가추세에 있으며 이 중 홍수 발생이 가장 큰 증가율을 보인다(Ministry of Environment, 2020). 불투수면적이 증가한 도심 지역에서는 홍수로 인한 더 큰 피해가 발생하는데, 서울 시의 경우 불투수면적을 증가로 직접유출량은 연간 483 mm 증가, 지하수함량은 107 mm, 지하수 유출량은 70 mm가 감소하여 물순환 체계가 악화되었다(Yeon et al., 2015). 서울시에 기후변화 취약성 개념을 적용했을 때 지형에 따라 고도가 16~20 m이고 하천에서 50 m 이내에 인접한 지역 또는 공업지역에서 홍수 취약성이 높은 것으로 나타났다(Kang and Lee, 2012). 또한, 저지대의 넓은 평야 지역의 과거 홍수자료(침수지역)와 지형정보를 이용해 분석했을 때, 고도 10 m 이하, 경사도 5도 이하의 공간적 범위가 과거 침수자료와 일치함을 보였다(Hwang, 2006).

국내에서는 대형 사고나 자연재해 등으로 피해 입은 지역의 긴급한 복구 지원을 위해 대통령이 특별재난지역을 선포하는데, 2002년과 2008년 태풍 및 집중호우로 인해 특별재난지역이 선포된 이후로 최근 2020년과 2022년 집중호우로 인한 특별재난지역이 선포되었다. 2022년 8월 국내 중부지방에 집중호우가 발생하여 기록적인 강수량을 보이고 심각한 재산, 인명 피해를 일으켰다. 특히나 8월 8일에서 9일 사이 서울특별시에는 호우경보가 발효되었고 동작구 신대방동에는 시간당 141.5 mm의 강수량이 관측되어 역대 최고치를 기록하였다(Eum and Kim, 2024). 2023년 5월에 남부지방을 중심으로 많은 비가 내렸고 겨울철(1월, 12월)에는 평년 월 강수량을 뛰어넘는 강수량을 보였다. 특히나, 1월은 드물게 일부 지역에 호우특보가 발효되었으며 12월 중순에 강수가 집중되면서 역대 1위 강수량을 기록하였다(Korea Meteorological Administration, 2024).

집중호우로 인한 침수 피해 증가로 편리하고 높은 정확도의 고해상도 지형정보를 활용한 강우-유출 모의가 필요하다. 본 연구는 강우-유출 모형인 storm water management model (SWMM)을 기반으로 지형자료인 shuttle radar topography mission (SRTM)-digital elevation model (DEM)을 제시하고 기존 강우-유출 모의에 사용되는 지형자료인 topographic digital elevation model (TOPO-DEM)과의 강우-유출 결과를 비교하여 강우-유출에서의 SRTM-DEM 활용 가능성에 대해 분석하고자한다. SRTM-DEM과

TOPO-DEM 관련 선행연구를 보면 Jarvis et al. (2004)는 온두라스 지역을 대상으로 지형도에서 도출된 수치표고모델에 대한 SRTM 데이터를 평가하기 위한 포괄적인 연구를 수행하였고 Yoo et al. (2007)은 기존 수치표고모델 구축 방식인 수치지형도(1:25,000) 기반으로 작성된 수치표고모델(30m)을 기준으로 SRTM (90 m)에서 얻어진 수치표고모델에 대한 정확도를 평가하였다. Jung et al.(2010)은 6개 강우 사상을 대상으로 원격탐사기법으로 구축된 SRTM-DEM의 격자기반 분포형 강우-유출 모형 적용성을 분석하였다.

또한, 수문모형 개발 및 분석 과정에서 SRTM-DEM을 지형자료로 활용한 선행연구는 다양한 분야에서 수행되었다. Hendricks and Alsdorf(2004)는 SRTM-DEM을 아마존 분지의 수문 경사도 추정에 사용하였다. Akbari et al.(2012)은 고해상도 지형정보인 SRTM과 강우 데이터인 TRMM (tropical rainfall measuring mission)을 GIS (geographic information system) 기반 수문모형에 통합하여 수문모형의 정확성과 신뢰성을 향상시키기 위한 연구를 수행하였다. Akter and Tanim (2016)은 잠재적 도시 홍수 위험 구역 설정을 위한 지형정보로 SRTM-DEM을 활용하여 SWMM을 분석하였다. Rai et al.(2017)은 도시 지역 홍수 시뮬레이션에 국한되어 있던 SWMM 분석을 하천 시스템을 대상으로 한 모델을 개발하는 과정에서 저수지에 대한 깊이-면적 관계를 개발하는데 SRTM-DEM을 사용하였다. Pakoksung and Takagi(2021)은 5개의 수치표고모델 (ASTER GDEM, SRTM, GMTED2010, HydroSHEDS, GTOPO30)을 물리적 기반 분산 수문모형인 RPI (rainfall-runoff-inundation)에 적용하여 관측자료와 비교 분석하였다.

국외에서는 SRTM-DEM은 수문모형 개발 과정에서 많이 사용하는 것으로 보아 SRTM-DEM의 수문에서의 적용성은 어느정도 검증되었다고 볼 수 있다. 하지만, 국내에서는 강우-유출 모형에 SRTM-DEM 적용성을 분석한 사례가 드물고 수문에서의 적용성 보다는 TOPO-DEM과 SRTM-DEM의 정확도 비교 연구가 주로 수행되었다(Yoo et al., 2007). 따라서 본 연구는 수문 분석을 위한 강우-유출 모델인 SWMM을 기반으로 SRTM-DEM의 강우-유출 모의 적용 가능성을 분석하고자 한다.

**Table 1.** Comparison of SRTM-DEM and TOPO-DEM

| Categories       | SRTM-DEM   | TOPO-DEM  |
|------------------|--|---|
| Data Acquisition | <ul style="list-style-type: none"> <li>Acquired using the Space Shuttle Endeavour</li> <li>Radar interferometry, which is used to provide three-dimensional images of Earth's surface</li> </ul>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Created from a variety of sources(aerial photography, lidar (Light Detection and Ranging), and ground surveys)</li> </ul>                    |
| Resolution       | <ul style="list-style-type: none"> <li>30 meters for the global dataset</li> <li>90 meters for regions outside the United States</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Dependent on the method used vary widely</li> </ul>  |
| Accuracy         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Generally reliable</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Highly dependent on the methods and technologies used</li> </ul>   |
| Coverage         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Provides near-global coverage</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Provides dependent on specific projects or surveys</li> </ul>  |
| Applications     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Used for a wide range of applications (geological studies, hydrological modeling, land use planning, and for landscape architecture and rural systems engineering)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ideal for high-precision applications (flood modeling, precision agriculture, urban planning, and detailed environmental studies)</li> </ul> |
| Accessibility    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Freely available for public use, which makes it accessible for researchers and professionals worldwide</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Some datasets may be publicly available, while others could be restricted or proprietary</li> </ul>  |

## 2. 연구 방법

### 2.1. 연구 방법

#### 2.1.1. SWMM 개요

본 연구는 강우-유출을 모의하기 위해 SWMM을 사용하였다. SWMM은 1971년 미국 EPA (United States Environmental Protection Agency, US EPA)의 지원 아래 Metcalf & Eddy, Florida 대학 및 Water Resources Engineers와의 공동 연구로 도시구역 하수 시스템 내의 유량과 수질을 모의할 수 있도록 개발된 모델이다(Huber and Dickinson, 1988; Park et al., 2008). SWMM은 동적 강우-유출 모의 모형으로 단일 강우 사상이나 장기모의가 가능해 다양한 시계열 시나리오가 고려된 모의 결과를 수집할 수 있다(Kim et al., 2017).

SWMM 유역을 구축하기 위해서는 배수 구역의 소유역별 지형 및 배수 특성자료, 관거 및 맨홀 자료, 강우 관련 자료가 필요하다(Oh et al., 2010; Lee, 2015; Bae et al., 2019; Kim and Kang, 2022). 소유역 지형 및 배수특성자료는 물리적 매개변수와 수문학적 매개변수로 구분되는데 물리적 매개변수는 소유역 지형에 대한 값으로 유역별 면적(ha), 폭(m), 평균 경사(m/m), 불투수 면적 비율(%) 등이다. 수문학적 매개변수는 배수특성 자료로 조도계수, 저류깊이, 침투량 등이다.

#### 2.1.2. 수치표고모델 개요

SWMM을 이용한 강우-유출을 모의하기 위해서는 지형자료인 수치표고모델(digital elevation model, DEM)이 필수적이며 모형에서 강우로 인해 발생된 유출의 이송과 속도를 결정하는 중요한 인자로 활용된다(Jung et al., 2010).

본 연구가 제시하는 지형자료인 SRTM-DEM은 미국 NASA (National Aeronautics and Space Administration)와 미국 NGA (National Geo-spatial-Intelligence Agency) 및 독일과 이탈리아 우주국의 협력에 의한 결과물이다. 2000년 2월 발사된 우주왕복선에 장착한 센서로 측정된 데이터로부터 전 지구적인 범위의 고해상도 지형정보가 구축되었다(Gamache, 2004; Lee et al., 2011). SRTM-DEM은 공개데이터로 USGS EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>)에서 지리정보가 포함된 GeoTIFF (georeferenced tagged image file format)으로 다운받아 사용할 수 있다. 기존의 지형자료인 TOPO-DEM은 수치지형도의 등고선 자료를 기반으로 생성된다. 수치지형도는 환경부 국토정보 플랫폼(<https://map.ngii.go.kr/mn/mainPage.do>)에서 다운받아 사용할 수 있다. 다운받은 수치지형도의 등고선 자료를 TIN 보간 방법을 활용하여 수치표고모델 자료로 구축할 수 있다.

SRTM-DEM과 TOPO-DEM의 자료 획득 방법, 해상도, 정확도, 적용 범위, 적용 분야 그리고 접근성 측면에서 차이점은 다음과 같다(Table 1). SRTM-DEM은

레이더 기반의 전 세계에 가까운 범위를 대상으로 만들어 지구 표면의 이미지를 3차원으로 제공한다. 자료는 공개자료로 무료로 사용할 수 있으며 제공되는 해상도는 30 m와 90 m이다. 이때, 30 m는 글로벌 범위를 대상으로 90 m는 미국 교외의 지역을 대상으로 제공된다. 정확도는 믿을만한 수준으로 수문학 모델링, 지형적 연구, 조정 건축 등과 같이 다양한 범위에 적용할 수 있다. TOPO-DEM의 경우 특정 프로젝트나 조사에 따른 범위를 대상으로 다양한 소스로부터 자료 획득이 가능하다. 해상도나 정확도의 경우 제작 방식과 기술에 따라 크게 좌우된다. 일부 공개적으로 사용이 가능하나 제한적인 경우도 있으며 주로 홍수 모델링, 예측농업 등과 같이 고정밀 응용 분야에 적용할 수 있다.

또한, 강우-유출 모의에서 SRTM-DEM을 활용하면 다음과 같은 이점이 있다. 첫째, 고해상도 지형정보를 글로벌 범위에서 활용할 수 있다. 제작하는 목적과 방법에 따라 해상도와 제작 범위가 크게 좌우되는 TOPO-DEM과 달리 SRTM-DEM은 레이더를 기반으로 글로벌 범위로 제작되어 넓은 범위에서의 고해상도 자료를 획득할 수 있다.

둘째, 자료의 취득성이 용이하다. TOPO-DEM의 경우 주로 특정 용도로 제작되기 때문에 공개자료가 제한적이다. 하지만 SRTM-DEM은 공개자료로 누구든지 용도에 맞게 다운 받아 사용할 수 있다.

셋째, 정확도가 높은 자료를 획득할 수 있다. TOPO-DEM은 만드는 방식이나 기술에 따라 정확도가 달라

진다. SRTM-DEM은 일정한 방식으로 제작해 전문가에게 평가 및 지원을 받고 있어 높은 정확도를 기반으로 강우-유출을 모의할 수 있다.

이처럼 SRTM-DEM을 사용할 경우 TOPO-DEM을 구축하는 과정에서 발생할 수 있는 불확실성을 감소시킬 수 있고 글로벌 단위로 제작된 수치표고모델을 원하는 구역에 맞게 바로 간단하게 다운받아 사용할 수 있다는 장점이 있다.

### 2.2. 연구 대상지

본 연구는 2022년 8월 집중호우로 침수가 발생한 서울시 서초구 방배동을 연구 대상지로 선정하여 수치표고모델과 SWMM 유역을 구축하여 강우-유출을 모의하였다(Fig. 1).

서울시에서 제공하는 침수 흔적도에 의하면 연구 대상지는 2022년 8월에 발생한 집중호우로 인해 방배동 일대에 침수 흔적이 남아있으며 특히 강남역 일대, 방배동과 관악구가 만나는 지점에서 많은 침수가 발생하였다(Fig. 2). 실제로 서초구는 2022년 8월 집중호우에 의한 침수 신속 복구를 위해 ‘특별재난지역’으로 선포된 이력이 있다. 서초구가 재난 관련 위험지구로 선정된 것은 처음이 아니며, 2011년 방배 2, 4 배수분구 유역이 사당천 하류부에 유입되어 침수위험으로 재해위험 지구에 선정된 이력이 있다.

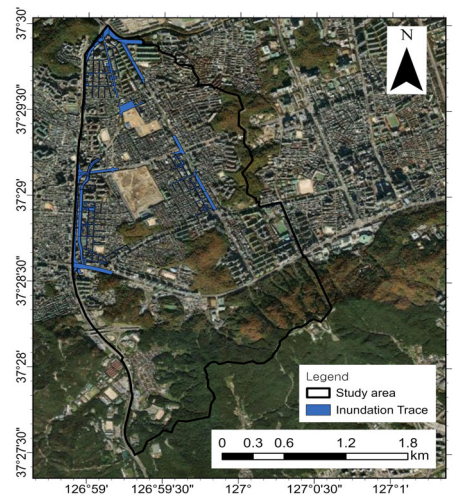
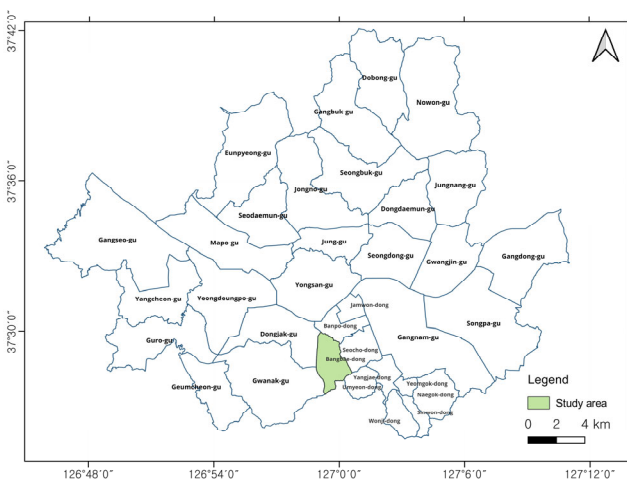


Fig. 1. Study area.

### 2.3. 강우 사상

본 연구는 강우-유출 모의를 위한 강우 사상으로 2022년 8월 서울시 자료로 선정하였다. 2022년 8월 집중호우는 최근 발생한 강우 중 시간당 141.5 mm로 많은 강수량을 보였고 연구 대상지에 집중호우로 인한 피해인 침수를 발생시킨 강우로 본 연구의 강우-유출 모의에 활용하였다. 10분, 60분 강수 자료 중 10분 해상도에서의 최대 강수량이 큰 값을 보이기에 (Kim et al., 2017) 기상청 기상자료개방포털에서 제공하는 관악관측소(116) 계측 자료를 10분 해상도 강우지속시간은 3시간으로 입력하였다(Table 2).

Table 2. Input rainfall data

| Time (min) | Value (mm) |
|------------|------------|
| 0          | 9          |
| 10         | 12         |
| 20         | 15         |
| 30         | 1.5        |
| 40         | 5.5        |
| 50         | 9          |
| 60         | 7          |
| 70         | 11         |
| 80         | 15.5       |
| 90         | 18         |
| 100        | 17.5       |
| 110        | 17         |
| 120        | 7          |
| 130        | 4          |
| 140        | 15.5       |
| 150        | 7.5        |
| 160        | 4.5        |
| 170        | 6.5        |
| 180        | 1.5        |

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 강우-유출 모의 모델링

#### 3.1.1. 지형자료(수치표고모델, 경사값) 구축 및 평균 경사값 비교

본 연구의 목적을 위해 연구 대상지의 TOPO-DEM과 SRTM-DEM을 구축하였다. Fig. 3(a)는 TOPO-DEM으로 환경부 국토정보플랫폼에서 제공하는

1:5,000 수치지형도로 구축하였다. 이때, 1:5,000 지형도의 등고선 단위는 5 m이다. 수치지형도 자료 중 등고선 자료를 나타내는 표고 자료만을 활용하여 TIN 보간을 수행 후 수치표고모델 자료로 변환하여 연구 대상지의 TOPO-DEM을 구축하였다. Fig. 3(b)는 SRTM-DEM으로 미국 NASA 등의 협력에 의한 결과물로 전 지구적인 범위의 고해상도 지형정보가 구축되어 있어 USGS EarthExplorer에서 쉽게 다운받아 사용하였다. 본 연구는 제공되는 자료 중 30 m 해상도 자료로 연구 대상지의 SRTM-DEM을 구축하였다.

강우-유출 모의를 위해 TOPO-DEM과 SRTM-DEM으로부터 경사값을 도출하였다. Fig. 3(c)는 TOPO-DEM에서 도출된 연구 대상지의 경사값이고, Fig. 3(d)는 SRTM-DEM으로부터 도출된 연구 대상지의 경사값이다. SRTM-DEM은 급한 경사지와 산 정상부에서 수치지형도로 구축한 TOPO-DEM과의 차이가 있어(Lee et al., 2011) 정량적 수치만 보면 경사값의 최대값 차이는 보이지만, 산지를 남쪽으로 품고있는 연구 대상지의 전반적인 지형적 특성을 두 개의 수치표고 모델에서 잘 나타내고 있다는 점에서 유사한 경향을 보인다.

TOPO-DEM과 SRTM-DEM으로 구축된 연구 대상지의 수치표고모델과 경사값이 비슷한 경향을 보이지만, 지형자료를 구축하는 과정은 큰 차이가 있다. SRTM-DEM은 원하는 구역의 고해상도 자료를 쉽게 구축할 수 있지만, TOPO-DEM은 원자료에 대한 이해도를 기반으로 수치표고모델로 변환하기 위해 많은 과정을 거쳐야하는 부담감이 있고 그 과정에서 불확실성이 발생할 수 있다는 점이다.

SWMM 기반 강우-유출을 모의하기 위해 도출된 경사값을 기반으로 SWMM 소유역별 평균 경사값을 입력해야 한다. 그에 도출된 경사값에서 SWMM 소유역별 평균 경사값을 산정하였고 그 값을 활용하여 총 12개의 SWMM 소유역에 적용된 평균 경사값의 상관관계를 분석하였다. Fig. 3(e)는 수치표고모델별 SWMM 소유역에 적용된 평균 경사값의 상관관계 분석결과로 두 데이터는 선형형태를 보였고  $R^2$ 이 0.9548로 높은 상관성을 보였다.

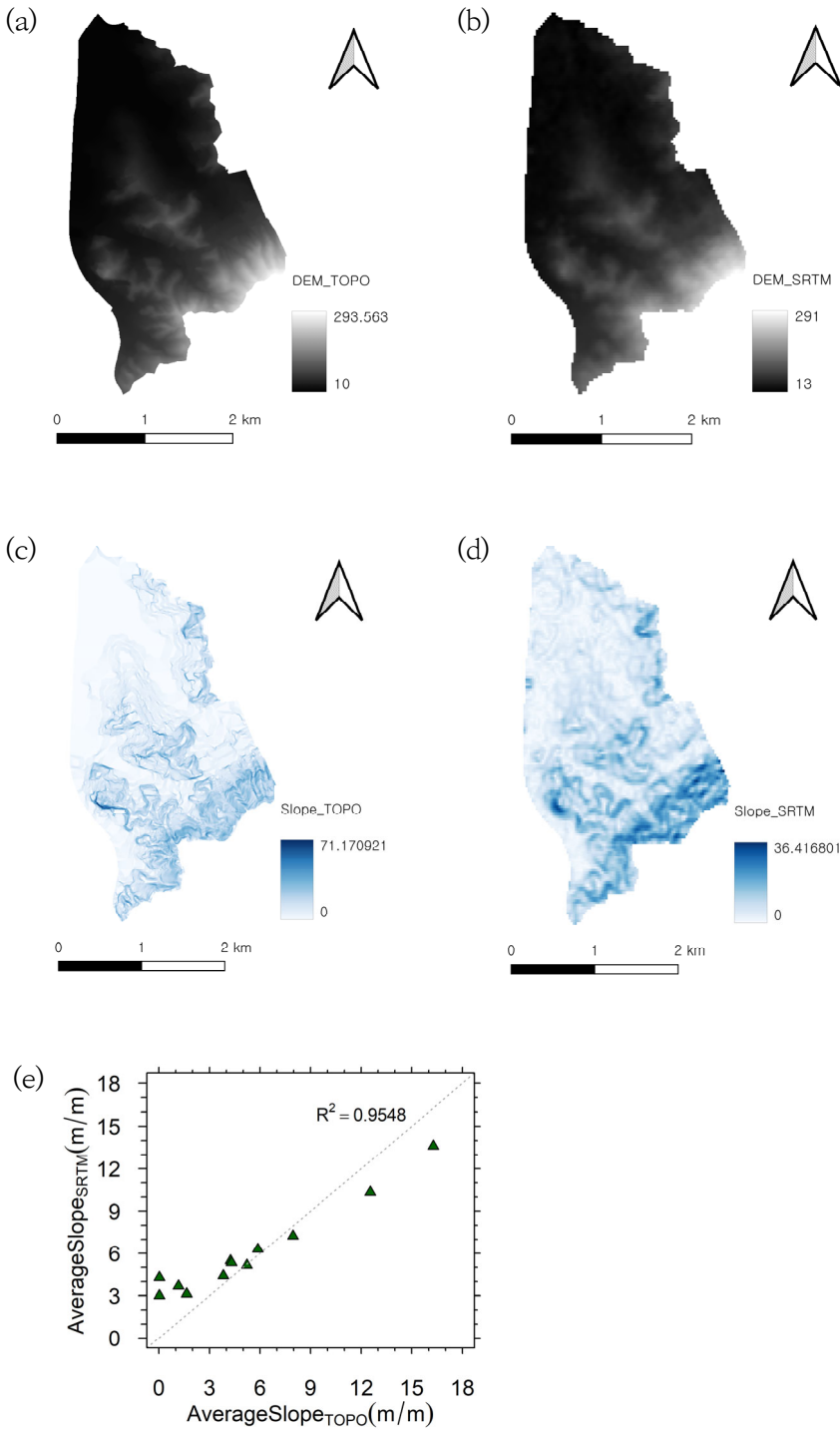


Fig. 3. Geospatial data: (a) DEM from TOPO-DEM; (b) DEM from SRTM-DEM; (c) Slope from TOPO-DEM; (d) Slope from SRTM-DEM; (e) Correlation of average slope input in SWMM subcatchments.

**Table 3.** Input parameters by SWMM subcatchments

| Subcatchment NO. | Terrain characteristics (Physical) |                                   |          |                    |       | Drain characteristics (Hydrological) |          |        |               |             |
|------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------|--------------------|-------|--------------------------------------|----------|--------|---------------|-------------|
|                  | Area (acres)                       | Percentage of Impervious Area (%) | Width(m) | Average Slope(m/m) |       | CN                                   | N-Imperv | N-Perv | Dstore-Imperv | Dstore-Perv |
|                  |                                    |                                   |          | TOPO               | SRTM  |                                      |          |        |               |             |
| S1               | 187.58                             | 14.71                             | 842.067  | 5.22               | 5.15  | 92.83102                             | 0.02     | 0.13   | 1.27 mm       | 5.1 mm      |
| S2               | 66.99                              | 100                               | 749.78   | 3.82               | 4.41  | 92.71899                             | 0.02     | 0.13   | 1.27 mm       | 5.1 mm      |
| S3               | 70.45                              | 79.85                             | 760      | 7.96               | 7.25  | 91.82335                             | 0.02     | 0.13   | 1.27 mm       | 5.1 mm      |
| S4               | 169.21                             | 50                                | 768.12   | 12.54              | 10.34 | 92.30993                             | 0.02     | 0.13   | 1.27 mm       | 5.1 mm      |
| S5               | 87.85                              | 85.20                             | 644.02   | 4.25               | 5.47  | 93.35176                             | 0.02     | 0.13   | 1.27 mm       | 5.1 mm      |
| S6               | 562.61                             | 13.90                             | 1441.84  | 16.28              | 13.62 | 92.38271                             | 0.02     | 0.13   | 1.27 mm       | 5.1 mm      |
| S7               | 53.17                              | 66.61                             | 626      | 1.65               | 3.13  | 92.21891                             | 0.02     | 0.13   | 1.27 mm       | 5.1 mm      |
| S8               | 42.75                              | 95.70                             | 775.65   | 0.03               | 4.29  | 92.8602                              | 0.02     | 0.13   | 1.27 mm       | 5.1 mm      |
| S9               | 47.92                              | 100                               | 735.93   | 0.03               | 3.00  | 90.99566                             | 0.02     | 0.13   | 1.27 mm       | 5.1 mm      |
| S10              | 53.35                              | 93.58                             | 558.44   | 5.87               | 6.30  | 88.9896                              | 0.02     | 0.13   | 1.27 mm       | 5.1 mm      |
| S11              | 66.12                              | 95.05                             | 517.91   | 1.16               | 3.69  | 90.76192                             | 0.02     | 0.13   | 1.27 mm       | 5.1 mm      |
| S12              | 73.75                              | 98.43                             | 640.22   | 4.31               | 5.33  | 86.15109                             | 0.02     | 0.13   | 1.27 mm       | 5.1 mm      |

### 3.1.2. SWMM 유역 구축

연구 대상지의 SWMM 유역을 구축하기 위해 실제 유역을 QGIS로 구축하고 관거 및 맨홀은 가상으로 설정하였다. 연구 대상지의 SWMM 유역은 12개의 소유역, 63개의 Junction, 74개의 Conduits, 1개의 유출 Outlet으로 구성되었으며 소유역별 적용된 지형 매개변수와 배수특성 값은 Table 3과 같다.

SWMM 유역을 구축하는 지형 매개변수 중 평균 경사(m/m) 값은 수치표고모델로부터 결정되며 구축된 TOPO-DEM과 SRTM-DEM으로부터 유역별 평균 경사값을 도출하여 적용하였다. 불투수면적은 환경부 중분류 토지피복도 자료를 기반으로 산정하였다.

SWMM 소유역에 적용된 평균 경사값을 비교해보면 각기 다른 수치표고모델에서 제작되어 경사값은 동일하지 않고 특정 소유역(S8, S9)에서 TOPO-DEM은 0.03의 값, SRTM-DEM은 각각 4.29와 3.00의 값을 보여 정량적 값의 차이가 있는 것으로 보이지만 전반적으로 높은 경사값을 보이는 소유역(S4, S6 등)과 낮은 경사값을 보이는 소유역(S2, S7, S11, S12 등)을 보았을 때 유사한 경향을 보이고 있다.

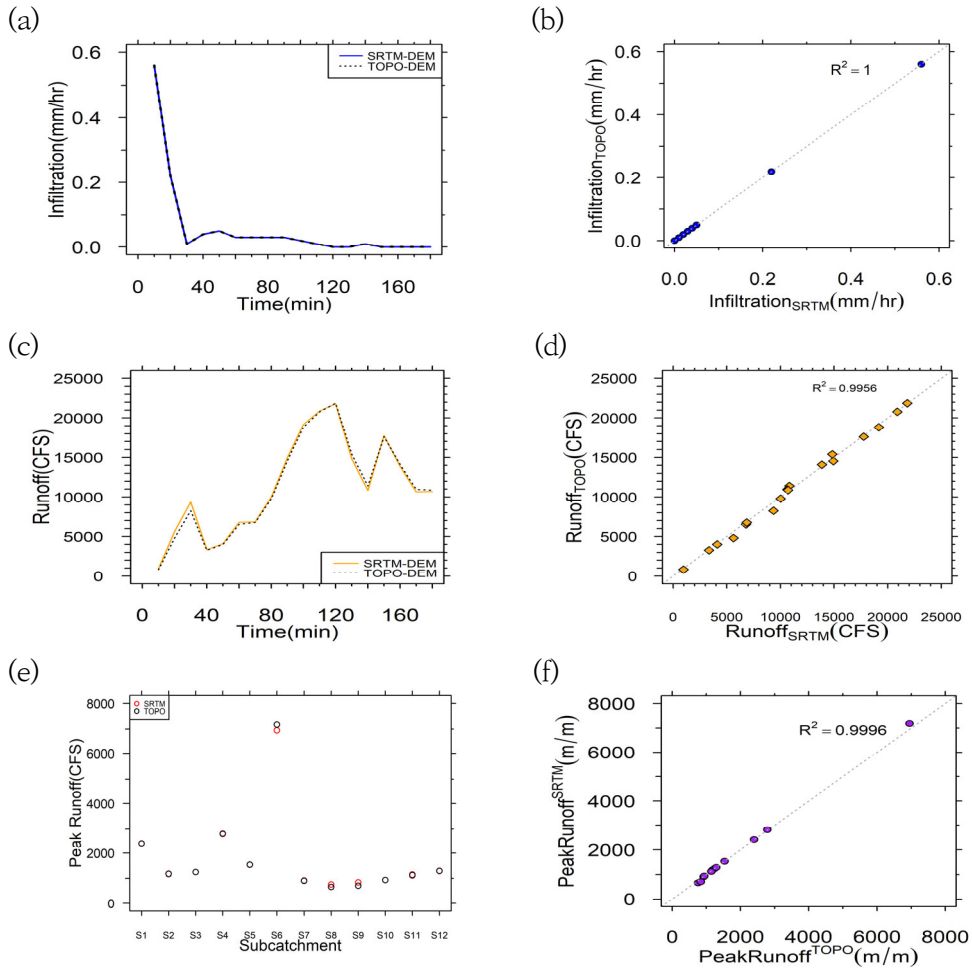
배수특성 자료 중 유역 공통 매개변수는 투수지역과 불투수지역의 조도계수와 저류깊이 값으로 조도계수는 Rossman and Simon(2022)를 참고하여 McCuen et al.(1996)이 제시한 Over-land Flow의 Manning값을

기반으로 불투수지역은 0.02, 투수지역은 0.13을 적용하였다. 저류깊이 또한 Rossman and Simon(2022)를 참고하여 불투수지역은 1.27 mm, 투수지역은 5.1 mm로 가정하여 적용하였다. 이때, 침투량은 환경부 중분류 토지피복도를 기반으로 Ministry of Environment (2019)에서 제시한 유출곡선지수 기준으로 유출능이 높은 토양군 D값을 적용하여 소유역별 특성에 맞는 CN값을 적용하였다.

### 3.2. 강우-유출 모의 결과

강우-유출 모의 결과는 TOPO-DEM과 SRTM-DEM을 연구 대상지에 적용했을 때의 SWMM 분석결과로 TOPO-DEM과 비교하여 SRTM-DEM의 적용성을 정량적으로 평가하고자 하였다. 이때, SWMM 분석결과를 정량적으로 비교하기 위해 강우 시간 동안의 총 침투량과 총 유출량 그리고 소유역별 최고 유출량 자료를 활용하였다.

강우 시간 동안 총 침투량의 경우 Fig. 4(a)에서 보이는 바와 같이 TOPO-DEM과 SRTM-DEM으로 구축된 유역에서 3시간 강우 시간 동안 동일한 경향과 값을 보였다. 두 데이터 간 상관관계 분석결과 Fig. 4(b)와 같이 선형형태를 이루었고 이때 R<sup>2</sup>는 1의 값을 보여 높은 상관성을 보였다.



**Fig. 4.** Rainfall-runoff simulation results; (a) Runoff according to DEM; (b) Runoff correlation; (c) Peak runoff according to DEM by subcatchment; (d) Peak runoff correlation by subcatchment; (e) Infiltration according to DEM; (f) Infiltration correlation analysis.

강우 시간 동안 총 유출량의 경우 Fig. 4(c)와 같이 강우 시간 동안 동일한 경향을 보였으나, 강우가 발생한 직후 SRTM-DEM으로 구축된 유역에서 TOPO-DEM으로 구축된 유역보다 조금 더 높은값의 유출량을 보이다가 이후 비슷한 경향을 보였다. 유출량 상관관계 분석 결과는 Fig. 4(d)에서 보이는 바와 같이 두 데이터 간 선형형태를 이루었고 R<sup>2</sup>값은 0.9956으로 높은 상관도를 보였다.

SWMM 소유역에서의 강우 시간 동안 최고 유출량은 일부 소유역을 제외하고 수치표고모델 간 동일한 유출

량을 보였다(Fig. 4(e)). 소유역별 최고 유출량의 상관관계 분석결과는 Fig. 4(f)에서 보이는 바와 같이 선형 형태를 보였고, 그때의 R<sup>2</sup>값은 0.9996으로 높은값을 보였다.

수치표고모델은 유역별 강우의 흐름을 모의하는 데 중요한 역할을 하는 지형인자이다. 앞서 두 개의 수치표고모델과 그를 기반으로 생성된 경사값의 정량적 차이는 있으나 물의 흐름을 모의하는 측면에서는 연구 대상지의 지형적 특성을 유사하게 모의하고 있어 강우-유출 모의에서 유사한 경향을 보이는 것으로 판단된다.



#### 4. 결 론

본 연구는 강우-유출 모의에서의 SRTM-DEM 사용 가능성을 평가하고자 하였다. 이때, 강우-유출 모의는 SWMM 분석 도구를 활용하였다. 기존의 지형정보인 TOPO-DEM과 본 연구가 제안하는 지형정보인 SRTM-DEM으로 서울시 서초구 방배동의 수치표고모델을 구축하여 경사값 도출 후 SWMM 소유역별 평균 경사 값을 산정하여 강우-유출을 모의하였고 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 2개의 수치표고모델에서 도출된 경사값의 최대값에서 차이는 있지만, 주변이 산으로 둘러 쌓여있고, 북쪽으로는 하천을 품고 있고 그 가운데에 주거지가 밀집되어있는 연구 대상지의 지형적 특성을 잘 반영하고 있어 지형에 따라 유사한 경향을 보인다. 또한, 도출된 경사값에서 산정되어 강우-유출 모의를 위한 SWMM 소유역에 적용된 평균 경사값의 상관관계는  $R^2$ 값이 0.9548로 높은 상관성을 나타냈다.
2. 강우-유출 모의 결과로는 강우 시간 동안 총 침투량, 총 유출량 그리고 소유역별 최고 유출량으로 분석하였다. 총 침투량은 강우 시간 동안 동일한 값을 보였고, 상관성분석결과  $R^2$ 값은 1으로 높은 상관성을 보였다. 총 유출량은 강우 초반에 SRTM-DEM에서 조금 높은 유출량을 보였지만, 이내 비슷한 경향을 보이며  $R^2$ 값이 0.9956을 나타내었다. SWMM 소유역별 최고 유출량 분석결과 수치표고모델 간 거의 동일한 유출량을 보였고  $R^2$ 값이 0.9996으로 높은 값을 나타내어 SRTM-DEM과 TOPO-DEM의 강우-유출 모의 결과에서 높은 상관성을 보였다.

본 연구는 수치표고모델 간 SWMM 소유역에 적용된 평균 경사값과 강우-유출 모의 결과의 상관성 분석을 통해 기존의 TOPO-DEM과 유사한 결과를 도출하는 SRTM-DEM이 강우-유출을 모의함에 있어 활용 가능성을 입증하였다. 본 연구 결과들은 SRTM-DEM이 TOPO-DEM보다 우위에 있음을 단정하는 것은 아니며 연구자들의 편의성과 보다빠른 강우-유출 분석을 위해 강우-유출에서의 SRTM-DEM 활용 가능성을 평가하는데 중점을 둔 것이다.

본 연구는 강우-유출 모의를 위한 지형자료로 SRTM-DEM만 활용하여 강우-유출 모의 가능성을 검토하였지만, 향후 SWMM 기반 다른 지형정보와 레이

더 기반의 강우 사상을 활용하거나 다양한 수문모델을 기반으로 한 지형정보별 강우-유출 모의 가능성에 대한 연구가 수반되어야 할 것이다. 또한, 강우-유출 모의 결과를 비교·분석하는 평가요소로 본 연구는 강우-유출 결과를 정량적으로 평가하고자 SWMM 분석결과 중 침투량, 유출량 그리고 소유역별 총 유출량 자료만을 활용하였지만, 향후 SWMM 분석결과 중 시각적으로 도출되는 자료인 유출지도 등 추가적인 평가요소가 고려된 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 환경부의 재원을 지원받아 한국환경산업기술원 “신기후체제 대응 환경기술개발사업(2022003570004)”에 의해 수행되었습니다.

#### REFERENCES

- Akbari, A., Abu Samah, A., Othman, F., 2012, Integration of SRTM and TRMM data into the GIS-based hydrological model for the purpose of flood modelling, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 9(4), 4747-4775.
- Akter, A., Tanim, A. H., 2016, Estimating urban flood hazard zones using SWMM in Chittagong city, *Tech. J. River Res. Inst.*, 13(1), 87-101.
- Bae, K. H., Ahn, J. H., Choi, Y. J., Kim, B. S., Yi, J. E., 2019, Analysis of the improved drainage capacity of urban basins at an LID facility, *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, 19(1), 311-322.
- Eum, J. I., Kim, H. K., 2024, Assessment of flood vulnerability of semi-basement households in Seoul, *J. Climate Change Res.*, 15(1), 35-46.
- Gamache, M., 2004, Free and low cost datasets for international mountain cartography, In 4th ICA Mountain cartography workshop, 26, Catalonia, Spain.
- Hendricks, G., Alsdorf, D. E., 2004, Channel slopes on Amazon basin rivers from the SRTM DEM, In AGU Fall Meeting Abstr., 2004, H23E-1178.
- Huber, W., Dickinson, R. E., 1988, Storm water management model, version 4: User's manual., EPA/600/3-88/001a, Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, United States Environmental Protection Agency., Athens, Georgia.
- Hwang, Y. J., 2006, Application of geographic database for prediction of flood vulnerable area, J.

- Korean Assoc. Reg. Geogr., 12(1), 172-178.
- Jarvis, A., Rubiano Mejia, J. E., Nelson, A., Farrow, A., Mulligan, M., 2004, Practical use of SRTM data in the tropics: Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), No. 198, Cali, Colombia.
- Jung, I. K., Park, J. Y., Park, M. J., Shin, H. J., Jeong, H. G., Kim, S. J., 2010, Application of a grid-based rainfall-runoff model using SRTM DEM, J. Assoc. Korean Geor., 13(4), 157-169.
- Kang, J. E., Lee, M. J., 2012, Assessment of flood vulnerability to climate change using fuzzy model and GIS in Seoul, J. Korean Assoc. Geog. Info. Studies., 15(3), 119-136.
- Kim, J. H., Choi, S. W., Joo, J. G., 2017, EPA SWMM-LID modeling for low impact development, J. Korean Soc. Hazard Mitig., 17(2), 415-424.
- Kim, J. K., Kang, J. S., 2022, Analysis of stormwater management and runoff reduction effect of LID Facilities using SWMM model in Sangdo-dong, J. Korean Acad. Industr. Co-op. Soc., 23(8), 337-347.
- Korea Meteorological Administration, 2024, Abnormal climate report 2023, 11-1360000-001109-10, Daejeon, Korea.
- Lee, J. M., 2015, Study on the introduction plan of low impact development technique in Pyeongtaek-Godeok New Town(I), 2015-1, Land & Housing Inst., Daejeon, Korea.
- Lee, J. S., Moon, C. G., Sim, J. H., 2011, Flood inundation analysis by construction techniques of river topography, Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference, Korea Water Resources Assoc., Korea, 411-415.
- McCuen, R. H., Johnson, P. A., Ragan, R. M., 1996, Highway hydrology: Hydraulic design series No. 2, Second edition, FHWA-SA-96-067, United States Federal Highway Admin., Washington, D.C.
- Ministry of Environment, 2019, Standard guidelines for flood volume estimation, 11-148000-001604-14, Sejong, Korea.
- Ministry of Environment, 2020, The third national climate change adaptation plan (2021~2025), 11-1480000-001715-13, Sejong, Korea.
- Oh, D. G., Chung, S. W., Ryu, I. G., Kang, M. S., 2010, Analysis of rainfall-runoff characteristics on impervious cover changes using SWMM in an urbanized watershed, J. Korean Soc. Water Qual., 1(26), 61-70.
- Pakoksung, K., Takagi, M., 2021, Effect of DEM sources on distributed hydrological model to results of runoff and inundation area, Modeling Earth Syst. Environ., 7, 1891-1905.
- Park, J. H., Yoo, Y. G., Park, Y. K., Yoon, H. T., Kim, J. G., Park, Y. S., Jeon, J. H., Lim, K. J., 2008, Analysis of runoff reduction with LID adoption using the SWMM, J. Korean Soc. Water Qual., 24(6), 805-815.
- Rai, P. K., Chahar, B. R., Dhanya, C. T., 2017, GIS-based SWMM model for simulating the catchment response to flood events, Hydrol. Res., 48(2), 384-394.
- Rossmann, L. W., Simon, M. A., 2022, Storm water management model user's manual, version 5.2., EPA-600/R-22/030, Center for Environmental Solutions and Emergency Response, Office of Research and Development, United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- Yeon, J. S., Kim, S. D., Choi, H. I., Shin, H. S., Kim, E. S., 2015, Rainfall runoff reduction analysis for the construction and maintenance costs of LID facilities, J. Korean Soc. Hazard Mitig., 15(4), 281-287.
- Yoo, S. H., Nam, W. H., Choi, J. Y., 2007, Assessment of accuracy of SRTM, J. Korean Natl. Comm. Irrig. Drain., 14(1), 80-88.

- 
- Professor. Junsuk Kang  
Department of Landscape Architecture and Rural Systems Engineering, Seoul National University  
junkang@snu.ac.kr
  - Doctor's course. Mirae Kim  
Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Seoul National University  
miraekim@snu.ac.kr