

GIS를 고려한 온천천-회동저수지 연계를 통한 온천천 침수 저감 방안에 관한 연구

추연문·최연웅*·추태호*·전근학*·전해성[†]

부산대학교 생산기술연구소
*부산대학교 사회환경시스템공학과

A Study on the Reduction of Flooding in Oncheon-Cheon through the Connection between Oncheon-Cheon and Hoedong-Reservoir Considering GIS

Yeonmoon Choo·Yeonwoong Choe*·Taiho Choo*·Kunhak Jeon*·Haesung Jeon[†]

Research Institute of Industrial Technology, Pusan National University, Korea

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

(Received : 8 October 2020, Revised : 31 December 2020, Accepted : 31 December 2020)

요약

부산지역의 연평균 강우량은 지속적으로 증가하고 있으며 부산광역시 소재 온천천의 경우는 자주 상습침수가 발생하였다. 온천천의 지형적 특징으로 중·하류부는 비교적 평탄하며 도심지가 발달하였다. 따라서 이상호우 시 하천 범람이 잦고 침수피해가 크기 때문에 이상호우 시 온천천의 유량을 효과적으로 배제할 방법이 필요하다. 본 연구에서는 온천천의 홍수저감 대책으로 동쪽에 위치한 회동저수지로 지하수로를 구축하였으며 EPA-SWMM으로 모의 분석하였다. 유역구성 시 필요한 정보들은 GIS를 활용하였다. 수영강 중류부에 회동저수지가 있으며 댐이 설치되어있다. 지하수로를 구축하여 온천천의 침수저감률을 분석하였으며 지하수로를 통한 온천천의 유량이 회동저수지로 넘어갔을 시 수영강에 미치는 영향도 분석하였다. 본 연구에서 설정한 침수위험지점에 대한 침수저감률은 지하수로를 설치하였을 때 평균적으로 24.64%가 저감되는 것으로 분석 되었으며 수영강으로 유량 배제 시 수영강에는 평균적으로 1% 유입량이 늘어났기 때문에 밀집한 도심지의 경우에 시민의 생명과 재산을 상당히 보호할 수 있을 것으로 판단되고 본 연구에서 제안하는 지하수로의 효용성이 있다고 사료된다.

핵심용어 : EPA-SWMM, 지리정보시스템, 회동저수지, 온천천, 침수저감

Abstract

The average annual rainfall in Busan to increase, and in case of Oncheon-Chen in Busan, frequent flooding occurred frequently. The middle and lower reaches of the Oncheon-Chen are relatively flat and urban areas are developed. Therefore, due to the frequent flooding of rivers and the large flood damage, a method of effectively eliminating the flow rate of Oncheon-Chen in the event of heavy rain is needed. In this study, underground waterway was established in the east of Hoedong-Reservoir as a measure to reduce floods in hot springs and simulated with EPA-SWMM. The information needed to construct the basin was utilized by GIS. In middle part of the Suyeong-Gang, there is a Hoedong-Reservoir and a dam is installed and has better conditions than the Nakdong-Gang. It also analyzed the effect of the Oncheon-Chen flow through the underground waterway on the Suyeong-Gang when it was transferred to the Hoedong-Reservoir. It was analyzed that the flood reduction rate at the flood risk points set up in this study was reduced by 24.64% on average when the underground waterway was installed, and the inflow of the water into the Suyeong-Gang increased by 1% on average when the flow rate was excluded by the Suyeong-Gang.

Key words : EPA-SWMM, GIS, Hoedong-Reservoir, Oncheon-Cheon, Reduction of Flooding

[†]To whom correspondence should be addressed.

Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University, Korea
E-mail: man5020@naver.com

- Yeonmoon Choo Research Institute of Industrial Technology, Pusan National University, Korea / Training Institute(chooyean@naver.com)
- Yeonwoong Choe Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University, Korea /The doctor's course(ywchoe@pusan.ac.kr)
- Taiho Choo Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University, Korea / Professor(thchoo@pusan.ac.kr)
- Junhak Jeon Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University, Korea / The doctor's course(ckh20003000@hanmail.net)
- Haesung Jeon Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University, Korea /The doctor's course(man5020@naver.com)

1. 서 론

1.1 연구배경

매년 이상기후로 인한 갑작스러운 폭우의 내습으로 도시 하천 범람이 심심치 않게 일어나고 있으며, 특히 부산지역의 연평균 강우량은 1970년대 1,255mm에서 2000년대 이후 1,407mm로 지속적으로 증가하고 있다. 부산광역시 소재 온천천의 경우는 2014년 동남권 폭우사태, 2020년 한반도 폭우사태 때도 온천천 유역 도심지들에 침수피해가 컸으며, 그 외에도 2009년, 2017년 등에도 상습침수가 발생하였다.

부산 온천천은 부산 수영강의 제1지류로서 수영강 하구로부터 약 3.1km 상류지점에서 수영강의 우안측으로 유입되는 지방하천이다. 온천천의 지형적 특징으로 상류부는 굴입하도의 하천이지만 중·하류부는 비교적 평탄하며 도심지가 발달하였다. 따라서 이상호우 시 하천 범람이 잦고 침수피해가 크기 때문에 이상호우 시 온천천의 유량을 효과적으로 배제할 방법이 필요하다.

1.2 연구동향

국내에서는 SWMM을 통한 방재시설물의 적정 선정에 관한 연구로 2009년 장승재가 방재시설물 설치 전·후로 분석하여 적정 설치에 대해 논하였고 2013년 이정호 등은 부산 BEXCO 유역을 모의하여 방재시설물의 최적 위치 선정 및 침수 저감효과를 분석하였다. 또한 SWMM을 통한 침수해석에 관해서는 2013년 신동수 등이 상습침수유역에 대한 유출저감효과를 분석하였고 2015 김진수 등은 도심지역 침수해석을 실시하였다.

국외에서도 SWMM을 통한 도시 홍수에 대해 여러 연구가 진행되어졌는데 2001년 Sharif 등은 캐나다 Nova Scotia 주의 Truro 지역의 홍수문제를 분석하여 홍수경보제의 운영을 위한 플랫폼으로 SWMM을 권고하였다. 2015년 Jiang 등은 SWMM 모델을 채용하여 중국 남부 지역의 도시 홍수를 시뮬레이션하였다. 2018년 Babaei는 SWMM을 이용하여 도시의 표면 유출을 추정하였다.

GIS와 SWMM을 연계활용한 연구사례로는 2008년 Barco 등이 캘리포니아의 대규모 유역에 GIS와 EPA-SWMM을 통합하여 분석하였고 2015년 Ji는등은 GIS와 SWMM을 결합하여 SWMM의 시뮬레이션 결과를 더욱 향상시켰다. 2017년 Rai 등은 SWMM을 사용하여 Brahmani river 삼각주의 홍수 모델을 실시하여 범람을 방지하기 위한 최대 흐름을 합리적으로 예측하기 위하여 GIS 기반의 SWMM 모델을 개발하였다.

1.3 연구방법

본 연구에서는 온천천의 홍수저감 대책으로 동쪽에 위치한 회동저수지로 지하수로를 구축하여 유량을 배제하였다. 수영강 중류부는 회동저수지가 있으며 자연일류형댐이 설

치되어있다. 또한 온천천에서 직선거리로 1.2km 정도 떨어져 있으며, 이는 직선거리로 7.6km 정도 떨어져 있는 낙동강 보다 유리한 거리 조건이다. 또한 낙동강으로 배제하기 위해서는 해발고도 801m의 금정산과 도심지를 통과하여야 하지만 온천천과 회동저수지 사이에는 산이 없으며 도심지가 없는 지역이 많아 유리한 지형 조건을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 온천천 중류부에 수영강 회동저수지로 지하수로 연결 상황을 EPA-SWMM으로 시뮬레이션하여 홍수 피해 저감을 분석하였다. 온천천 상류부 시작점부터 지하수로 연결 지점 및 지하수로 연결 지점 하류의 침수위험지점까지 모두 EPA-SWMM으로 유역을 구성하였으며, 중요성과 활용도가 높아지고 있는 GIS를 활용하여 유역을 구성하였다. 강우사상에 대해서는 12개의 다양한 확률강우량을 Huff 3분위로 시간분포하여 적용하였으며 지하수로를 통한 온천천의 유량이 회동저수지로 넘어갔을 시 수영강에 미치는 영향도 분석하였다.

2. 연구유역 구성

2.1 GIS를 고려한 유역도 작성

온천천은 전형적인 도시하천으로 하천 범람은 시민의 안전과 재산 피해로 즉시 이어진다. 따라서 강우에 따른 침수량과 침수 발생 시점의 정확한 모의가 중요하다. 현재 하천 기본계획 상에 적용되는 HEC-RAS 등은 하천 자체에 대해서만 모의가 이루어지는데 SWMM은 하천뿐만 아니라 유역의 불투수면적 등 유역에 대해서만 21가지의 상세한 입력이 가능하며, 침수량 분석을 통해 어느 규모까지 침수



Fig. 1. Study Area (Some Sections)

피해가 일어날지 예측할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 유역구성의 제한이 없고 무료 소프트웨어라 범용성이 좋은 EPA-SWMM으로 유역도 작성 및 침수 분석을 하였다.

GIS는 지형정보 등을 인공위성으로 수집하여 컴퓨터로 분석된 복합적인 지리정보시스템으로 국토계획, 도시계획, 통신시설 뿐만 아니라 수자원관리에서도 중요한 정보를 제공한다. EPA-SWMM 상에서 유역도를 작성하기 위해서는 유역의 지형학적인 요소들의 정확한 입력이 필히 요구되기 때문에 유역정보 입력에 GIS를 활용하여 유역을 구성하였고 Fig. 1은 본 연구에서 구성한 온천천과 수영강의 상류 유역 영역이다.

2.2 침수위험지점 선정

본 연구에서는 온천천 시작점에서 부산도시철도 1호선 두실역 근방의 Stn.3 지점까지 EPA-SWMM으로 온천천 유역을 구성하였다. 또한 수영강에 미치는 영향도 파악하기 위하여 수영강 시작점부터 화동저수지 하류점 까지 유역을 구성하였다.

온천천 유역의 Stn.3 지점에서 100m 상류에 본 연구에서 선정한 침수위험지점인 Stn.2가 있다. Fig. 3은 Fig. 2에 표현된 연구 유역(일부)의 종단면도이며 Stn.2 지점은 하상경사가 상당히 완만하기에 호우 시 유량이 빠르게 배출되지 못하여 정체시간이 길어져 빈번히 침수가 일어나는 지점이다. 따라서 해당 측점을 침수위험지점으로 선정하였다.

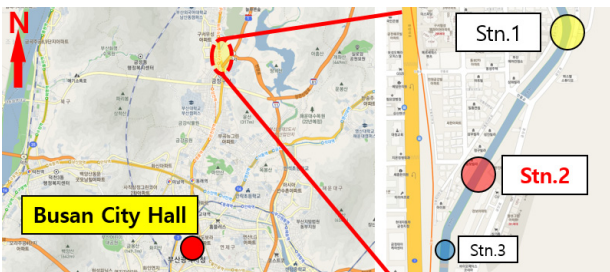


Fig. 2. Study Area (Some Sections)

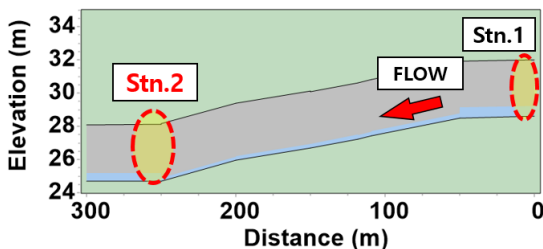


Fig. 3. Longitudinal Section of Study Area (Some Sections)

2.3 지하수로 구축

지하수로로는 Fig. 2의 Stn.1 지점에서 시작되며 지하수로의 경로는 Fig. 4와 같이 화동저수지로 연결된다. 지하수로 기점부의 바닥 표고는 28.59m, 제방 표고가 33.56m이다.

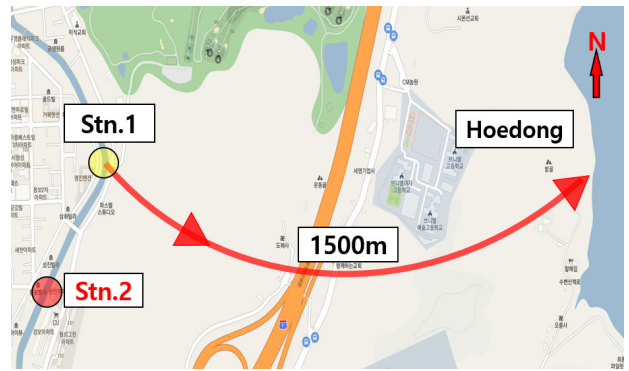


Fig. 4. Route map of Underground Waterway

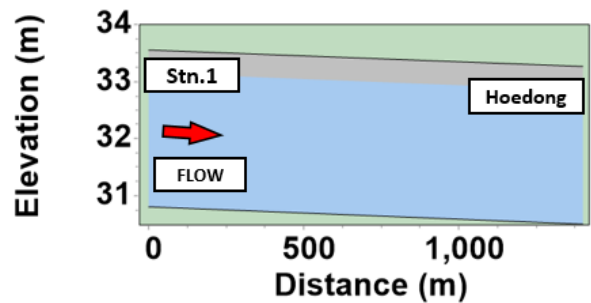


Fig. 5. Longitudinal Section of Waterway

종점부의 운영수위 표고는 30.55m, 제방 표고가 40m이다. 지하수로 제원은 직경 2.8m의 원형 콘크리트 터널이며 지하수로의 종단도는 Fig. 5와 같다.

3. 적용

3.1 온천천 침수 저감효과

본 연구에서의 강우사상은 확률강우량을 사용하였으며 지속시간 60분~180분, 재현연도 30년, 50년, 100년, 200년 빈도를 적용하여 총 12개의 다양한 강우조건에서 모의하였다.

Table 1. probable pr-ecipitation to Duration-Recurrence Interval in Busan

Duration-Recurrence Interval		Rainfall (mm)
60min	30yr	89.5
	50yr	97.4
	100yr	108.2
	200yr	118.9
120min	30yr	127.2
	50yr	138.5
	100yr	153.9
	200yr	169.2
180min	30yr	152.2
	50yr	165.7
	100yr	184.0
	200yr	202.2

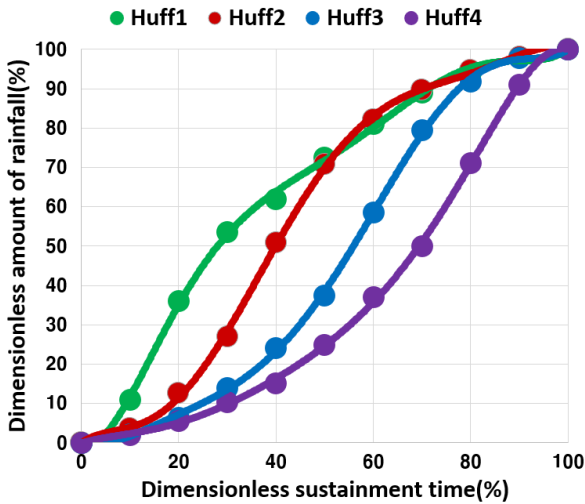


Fig. 6. Huff Time Distribution(Busan)

확률강우량은 2011년 국토교통부에서 발간한 ‘확률강우량도 개선 및 보완 연구’의 부산지역 확률강우량을 해당 국토부 연구에서 실무적 안전측으로 제시하고 있는 Huff 제3분위로 시간분포를 하여 적용하였으며 Table 1은 본 연구의 입력자료로 활용된 확률강우량이며 Fig. 6은 부산지역

Huff 분위별 50% 누가우량곡선이다.

각 강우사상에 대한 침수위험지점의 침수저감률은 Table 2와 같으며 침수저감을 그래프로 도시화 한 것이 Fig. 7이다. 침수량 저감 정도와 침수 시간을 그래프를 통하여 확인하였을 때, 지하수위가 없을 때의 침수 저감 양상은 터널이 있을때와 동일하며, 그래프에서 주목할 점은 침수 발생 시

Table 2. Results of Flood Reduction Rate to Duration-Recurrence Interval

Duration-Recurrence Interval		Reduction Rate of Flooding
60min	30yr	25.30%
	50yr	25.77%
	100yr	26.40%
	200yr	27.45%
120min	30yr	24.02%
	50yr	24.09%
	200yr	25.00%
180min	30yr	22.52%
	100yr	23.36%
	200yr	23.99%

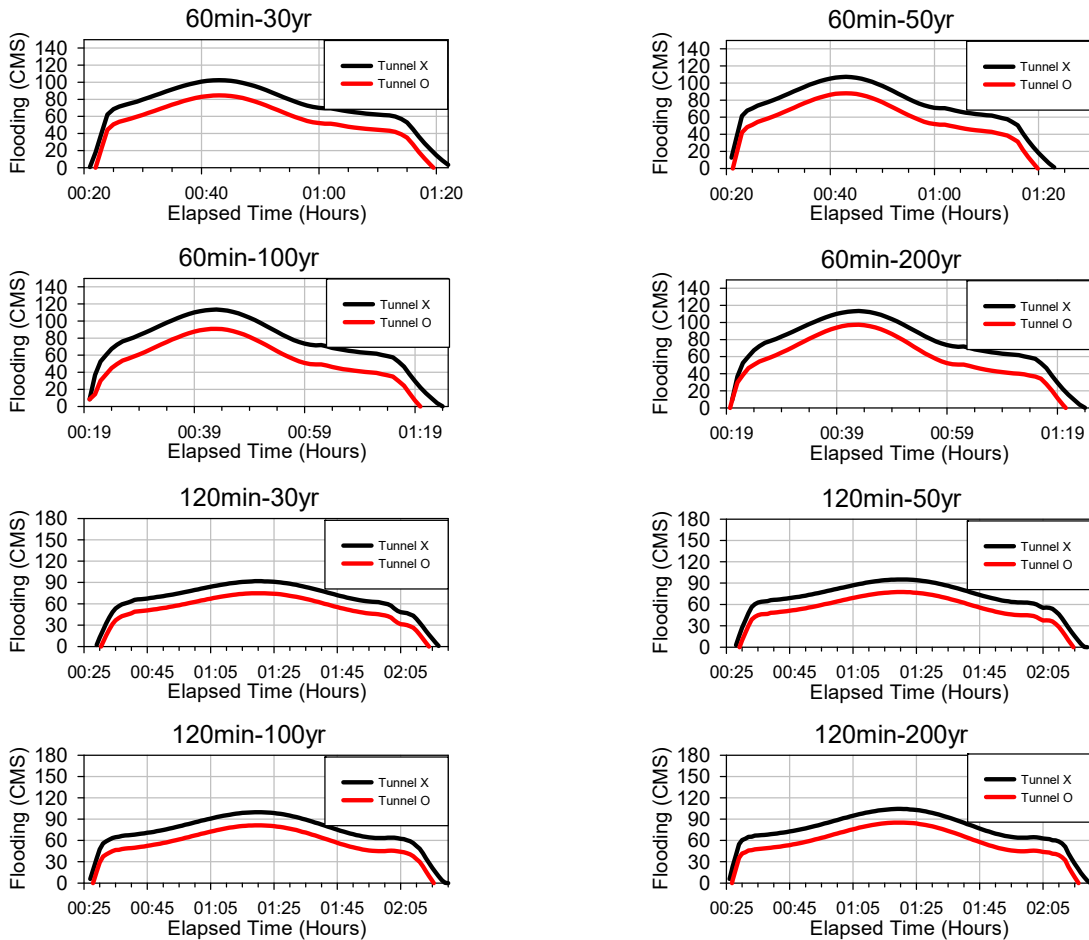


Fig. 7. Graph of the Flooding Through a Underground Waterway

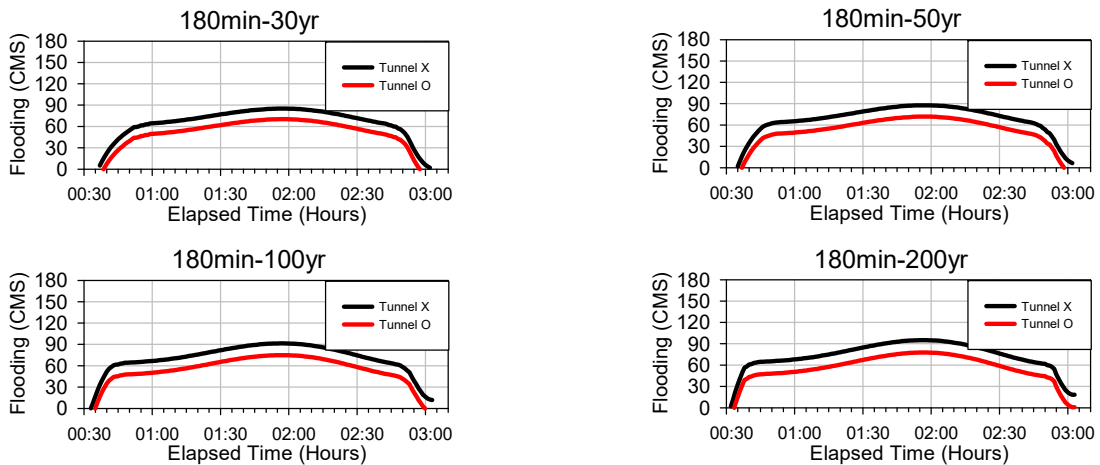


Fig. 7. Graph of the Flooding Through a Underground Waterway (continue)

간이 지하수위가 없을 때보다 있을 때 늦춰진다는 것이다. 또한 침수가 끝나는 시간 또한 지하수위가 없을 때보다 있을 때 앞당겨졌다.

3.2 수영강에 대한 영향 분석

지하수로를 통한 온천천의 유량이 회동저수지로 이동하였을 때 수영강에 미치는 영향 분석으로는 대표적으로 두 가지 경우에 대해 분석하였으며(Table 3), 지속시간 60분 재현기간 200년 빈도의 경우와 지속시간 180분에 재현기간 200년빈도의 경우에 수영강에는 각각 1.2%, 0.7% 유입량이 증가하였다. 이는 온천천에 비해 수영강은 규모가 큰 하천이며 유역면적도 약 4배에 달하고 수영강으로 바로 방류하는 것이 아닌 회동저수지로 방류를 하기 때문에 일시 저류 후 댐을 통해 월류하기 때문으로 판단된다.

Table 3. Inflow Rate of Suyeong-Gang to Duration-Recurrence Interval

Duration-Recurrence Interval		Inflow Rate of Suyeong-Gang
60min	200yr	1.2%
180min	200yr	0.7%

4. 결 론

본 연구에서는 이상호우 시 상습적으로 침수피해가 일어나는 온천천 도심지 유역에 대해 홍수저감 방안을 제시하고자 EPA-SWMM으로 온천천-회동저수지 간 지하수로를 구현하여 모의 분석하였다.

지속시간 60분~180분, 재현기간 30년, 100년, 200년, 200년 빈도 총 12개의 부산지역 확률강우량으로 모의 시 본 연구에서 설정한 침수위험지점에 대한 침수저감률은 평균적으로 24.64%가 저감되는 것으로 분석 되었으며 이것은 밀집한 도심지의 경우에 시민의 생명과 재산을 상당히 보호할 수 있을 것으로 판단된다.

또한 온천천의 유량을 회동저수지로 배제하였을 시 수영

강에는 유입량이 평균적으로 1% 증가하였는데 이것은 본 연구에서 구축한 지하수위가 규모가 비교적 작은 온천천에 대해서는 침수저감률의 효용성이 있으나 이것이 회동저수지와 수영강으로 넘어갔을 때는 영향이 크지 않은 것으로 판단되기 때문에 본 연구에서 제안하는 지하수로의 효용성이 있다고 사료된다.

감사의 글

이 과제는 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음

References

Agarwal, S, Kumar, S(2019). Applicability of SWMM for semi urban catchment flood modeling using extreme rainfall events, *International J. of Recent Technology and Engineering*, 8(2), pp. 245-251. [DOI: 10.35940/ijrte.A3169.078219]

Ahamed, SMF, Agarwal, S(2019). Urban flood modeling and management using SWMM for new R.R. Pet region, Vijayawada, India, *International J. of Recent Technology and Engineering*, 7(6C2), pp. 317-322.

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]

Barco1, J, Kenneth, M, Wong, Stenstrom, MK(2008), Automatic calibration of the U.S. EPA SWMM model for a large urban catchment, *J. of Hydraulic Engineering*, 134(4), pp. 466-474. [DOI:https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2008)134:4(466)]

- Campbell, CW, Sullivan, SM(2002). Simulating time-varying cave flow and water levels using the Storm Water Management Model, *Engineering Geology*, 65(2-3), pp. 133-139. [DOI:[https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(01\)00120-X](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(01)00120-X)]
- El-Sharif, A, Hansen, D(2001). Application of SWMM to the flooding problem in Truro, Nova Scotia, *Canadian Water Resources Journal*, 26(4), pp. 439-459. [DOI:<https://doi.org/10.4296/cwrj2604439>]
- Jang, SH, Cho, MO, Yoon, JY, Yoon, YN, Kim, SD, Kim, GH, Kim, LH, Aksoy, H(2007). Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment, *Desalination*, 212(1-3), pp. 344-356. [DOI:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.05.005>]
- Jang, SJ(2009). A study on the proper size of rainwater stored tank in submerged districts using SWMM program, *J. of the Korean Housing Association*, 20(3), pp. 69-76. [Korean Literature]
- Ji, S, Qiuwen, Z(2015). A GIS-based subcatchments division approach for SWMM, *The Open Civil Engineering Journal*, 9, pp. 515-521. [DOI:<https://doi.org/10.2174/1874149501509010515>]
- Jiang, L, Chen, Y, Wang, H(2015). Urban flood simulation based on the SWMM model, *Proceedings RSHS14 and ICGRHWE14*, IAHS, Guangzhou, China, pp. 186-191. [DOI : <https://doi.org/10.5194/piahs-368-186-2015>]
- Junaidi, A, Ermalizar, LM(2018). Flood simulation using EPA SWMM 5.1 on small catchment urban drainage system” *International Conference on Disaster Management*, ICDM, Padang, Indonesia, 229. [DOI:<https://doi.org/10.1051/mateconf/201822904022>]
- Kim, JS, Lee, WH(2015). Flood inundation analysis in urban area using XP-SWMM, *J. of the Korean Geoenvironmental Society*, 16(1), pp. 29-36. [DOI:<https://doi.org/10.14481/jkges.2015.16.1.29>] [Korean Literature]
- Lee, JH, Song, YH, Jo, DJ(2013). Determination of optimal locations of urban subsurface storage considering SWMM parameter sensitivity, *J. of KOSHAM*, 13(4), pp. 295-301, [DOI:<https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2013.13.4.295>] [Korean Literature]
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2011) *A Study on the Improvement and Complementation of Probabilistic Rainfall*, 11-1611000-001995-01.
- Pathirana1, A, Tsegaye, S, Gersonius1, B, Vairavamoorthy, K(2011). A simple 2-D inundation model for incorporating flood damage in urban drainage planning, *Hydrol. Earth Syst*, 15, pp. 2747-2761. [DOI:<https://doi.org/10.5194/hess-15-2747-2011>]
- Rai, PK, Chahar, BR, Dhanya, CT(2017). GIS-based SWMM model for simulating the catchment response to flood events, *Hydrology Research*, 48(2), pp. 384-394. [DOI:<https://doi.org/10.2166/nh.2016.260>]
- Shin, DS, Park, JB, Kang, DK, Jo, DJ(2013). An analysis of runoff mitigation effect using SWMM-LID model for frequently inundated basin, *J. of KOSHAM*, 13(4), pp. 303-309. [DOI:<https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2013.13.4.303>] [Korean Literature]