

침수 저감을 위한 도시하천 수위를 고려한 배수펌프장 운영에 관한 연구

전해성¹, 추연문^{2*}

¹부산대학교 사회환경시스템공학과, ²부산대학교 생산기술연구소

A Study on The Operation of Drainage Pump Station Considering The Water Level of Urban River to Reduce Flooding

Hae-Seong Jeon¹, Yeon-Moon Choo^{2*}

¹Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University

²Institute of Industrial Technology, Pusan National University

요약 한국의 여름은 기후변화로 인해 계절성 집중호우가 증가하고 있고 매년 침수 피해를 입고 있다. 정부에서는 침수 피해를 줄이기 위해 신규 배수펌프장을 증설하고 있지만 계절성 집중호우로 하천의 수위를 조절하지 못해 지속적으로 피해가 발생하고 있다. 따라서 배수펌프장을 운영하기 위해 하천의 수위를 조절해야 하며 배수펌프장의 유수지를 통해 조절할 수 있다. 본 연구에서는 배수펌프장으로 하천의 수위를 조절하기 위해 새로운 배수펌프장 운영 방식을 제안하며, 효과를 검증하기 위해 한국 부산시의 수영강과 온천천을 대상으로 SWMM을 사용해 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션 결과 수영강에서 평균 5216 m³의 침수가 저감되었으며, 온천천은 구조적인 문제점으로 인해 보완이 필요하였다. 온천천의 구조적인 문제점을 간단하게 보완하여 재모의한 결과 온천천에서 평균 615 m³의 침수가 저감되었다. 본 연구는 기후변화로 피해가 증가하는 도시하천에서 경제적이고 효율적으로 침수를 저감하는 방법을 제시한다.

Abstract Guerrilla torrential rains during summer in Korea are increasing due to climate change and are causing flooding every year. The government is expanding drainage pump stations to reduce flood damage. Still, damage continues due to the inability to control the river's water level caused by guerrilla torrential rains. Therefore, the water level of the river must be adjusted to operate the drainage pump station. This adjustment can be made through the running water of the drainage pump station. Along these lines, this study proposes a new drainage pump station operation to control the river's water level with a drainage pump station. As part of the study, simulations were conducted using SWMM for Suyeonggang River and Oncheon-Cheon in Busan, Korea, to verify the effectiveness of the proposed method. The simulation results indicate that the average flooding of 5216 m³ in the Suyeonggang River was reduced with the proposed implementation. However, the Oncheon-Cheon needed to be supplemented due to structural problems. Re-moisturizing by simply supplementing the structural problems of the Oncheon-Cheon reduced the flooding of an average of 615 m³ in it. Altogether, this study proposes a method of economically and efficiently reducing flooding in urban rivers where damage is increasing due to climate change.

Keywords : Reduction of Flooding, EPA-SWMM, Oncheon-Cheon, Suyeonggang River, Pump Station

*Corresponding Author : Yeon-Moon Choo(Pusan Nat'l Univ.)

email: chooyean@naver.com

Received December 21, 2021

Accepted February 4, 2022

Revised January 13, 2022

Published February 28, 2022

1. 서론

매년 기후변화로 인한 집중호우와 도시화로 인한 불투수 면적 증가로 도시 내 지표 유출이 급격히 증가하고 있다. 매년 도시하천이 범람하는 경우가 늘어나고 있으며 피해 또한 막대하다. 특히 한반도의 기후상황이 변화하면서 여름철 장마가 점차 열대성 계절라 강우로 변하고 있다. 기후변화로 발생한 이상호우로 도시하천이 범람하는 경우가 늘어나고 있으며 피해 또한 막대하다[1-4]. 특히 부산과 같은 해안도시는 상류에서 내려온 유량이 집중되고 바다의 조위에 따라 피해가 가중된다. 실제로 부산에서는 2014년과 2020년에 계절라성 집중호우가 발생하였는데 높은 조위로 인해 큰 피해가 발생하였다. 2014년에는 7명이 사망하고 부산의 고리원자력발전소 2호기가 정지되었다. 2020년에는 한국에서 45명이 사망하고 약 7,000명의 이재민이 발생하였다. 한국의 여름은 약 300 mm의 비가 30일 동안 내리는 우기가 존재했고 하루에 200 mm가 넘는 계절라성 집중호우는 자주 발생하지 않았기 때문에 계절라성 집중호우를 대비한 정책이 부족하다. 따라서 열대 기후로 변화하는 현실에 맞춰 계절라성 집중호우에 대비할 새로운 방법이 필요하다.

세계의 많은 도시들은 부산과 같이 하천을 중심으로 발전했다. 따라서 하천의 범람을 막는 다양한 방안들이 지속적으로 연구되고 있다. 이진우 등은 부산 기장관측소에서 관측된 41개년(1975~2015년)의 강우 자료를 이용하여 온천천, 빗물펌프장 등 4개 유역의 우수관망의 유출특성을 분석하였고 그 결과 침투강우량이 증가함에 따라 증가하는 침투유출량을 예측하는 신뢰도가 도시 우수관의 구조에 따라 달라지는 수계밀도를 계산하여 추정할 수 있음을 확인하였다[5]. 또한 김성훈은 온천천 유역에서 배수펌프장을 서로 연계시키는 방법을 연구한 바 있다[6]. 이정우 등은 선유3 배수펌프장 유역을 선정하여 2003년도 주요 호우사상에 대한 내배수시스템의 유출특성을 분석하였으며, 배수펌프장 설치 유무에 따라 우수 유출량을 배수관망을 통해 하류 하천으로 배수시킬 수 있는지를 분석하여 배수펌프장이 내수침수저감에 미치는 영향을 평가하였다[7]. 길경의 등은 도시 소유역에 위치한 배수펌프장의 집중호우 시 운영 개선방안을 도출하기 위한 기초연구로서 강우유출을 모의하기 위해 GIS 근간의 강우유출 모의 모델인 HEC-HMS를 활용하였으며, 2001년 7월 구리시에 발생한 집중호우에 대한 홍수유출 수문 곡선을 모의할 수 있었다[8].

심규범 등은 급격한 도시화로 인한 불투수율 증가와

기후변화 등의 이유로 침투유출량이 증가하고 있는 추세이며 이를 방어하기 위한 수단으로 배수펌프장이 운영되거나 대부분 우수지 수위에 의해 펌프를 순차적으로 가동하여 운영되고 있어 펌프운영조건에서 따른 시나리오를 설정하고, 각 시나리오 별로 월류량과 월류 발생지점을 분석하여 신뢰도를 산정하였고 월류량 및 침수면적에 따른 관계식을 산정하여 현재운영조건에서 모의된 수위와 가장 큰 차이를 보인 시나리오의 월류량을 회귀식에 적용하여 침수면적 저감규모를 추정하였다[9].

장승재는 SWMM을 이용하여 대상지역에 대한 강우 데이터와 관거에 대한 자료를 수집하여 시뮬레이션을 하였다. 결과는 대상 지역에 대한 우수가 범람할 수 있는 지점의 예측과 이 때 유출되는 유출량 및 유출지속시간을 예측할 수 있는 것으로 나타났다[10]. 손태석 등은 도시지역의 내수침수 위험도 분석을 위하여 부산시 대표 도시하천인 온천천을 대상유역으로 하여 SWMM모형을 구축하고 각 소유역의 대표 우수관을 선정하여 강우에 의한 도시하천 내수침수 위험 취약성 분석을 하였다[11].

Jiang 등은 도시 홍수 계획 및 관리 모델 중 하나인 SWMM 모델을 채택하여 급속히 도시화된 중국 남부에서 동관시의 도시 홍수를 시뮬레이션 했다[12]. 그 결과 SWMM 모델은 도시 홍수 예보에 유망한 것으로 나타났지만 표면 유출 경로가 없기 때문에 도시 홍수를 정확하게 예측할 수 없었다고 하였다. Rabori 등은 반 건조지역의 도시 홍수를 추정하기 위해 SWMM의 응용 프로그램을 제시하였다. 이 연구에서 도시 배수 시스템의 성능도 조사하였는데 결과에 따르면, SWMM은 반 건조지역에서 도시 홍수 추정을 위한 효과적이 도구였다고 하였다[13]. Junaini 등은 기존 배수 시스템은 지역의 토지 이용 변화로 인한 배수 하중의 증가를 수용하기에 적합하지 않아 연구에서 배수 시스템을 평가하기 위해 EPA-SWMM 5.1버전을 사용하여 시뮬레이션 모델을 개발하였다[14]. 이 모델은 시뮬레이션 기간 동안 각 유역 면적, 배수 방류, 유역 깊이 및 수질으로부터 표면 유출의 양과 품질을 계산할 수 있었다고 하였다. Kim 등은 기후 변화로 인한 강우 강도와 홍수의 증가는 도시 지역의 홍수 범람을 악화시킬 것으로 예상된다고 하였다. 특히 배수시설이 부족한 중소도시는 대도시보다 홍수 범람에 더 취약하다하여 EPA-SWMM과 HDM-2D를 사용하여 한국에 위치한 두 개의 중소 도시에 대한 간소화된 도시 우수 침수 시뮬레이션 모델리를 소개하였다[15]. 그 결과 시뮬레이션을 기반으로 한 단순화된 침수 분석에서 중소규모 도시의 소규모 도시 홍수는 추가 홍수가 발생

한 후 2시간 이내에 빠르게 전파되었으며 홍수 전파는 도로, 바닥 또는 경사로 지형 장애물과의 상호 작용과 매우 관련이 있었다고 하였다. Vassilios 등은 SWMM에 총 16개의 독립적인 강우 이벤트를 사용하였으며, 이는 수문 및 오염물질 적재 모두에 대한 관찰된 데이터와 좋은 비교를 보였다[16]. Wenjie 등은 급속한 도시화로 인한 침수로 인해 재산 손실이 점점 더 심각해지고 있다고 하며 도시 침수 모델링은 이러한 손실을 줄이는 효과적인 방법이라고 하였다. 그는 SWMM과 GIS기반의 분산 우수흐름 모델을 기반으로 한 간소화된 도시 우수 범람 시뮬레이션 모델을 소개하였다[17]. Choo 등은 기존 홍수 예측 방법과 차별되는 방법으로 Flood-Nomograph를 사용하여 실시간 홍수예측 방법을 제시했다[18].

하천의 범람을 막기 위한 다른 방법으로 기존 유역에 설치되어있는 댐을 활용하는 연구도 활발히 진행되고 있다. Blazkova 등은 체코에서 대규모 유역에 있는 댐에 대한 홍수 빈도를 추정하는 방법을 적용하였다[19]. Badenko 등은 러시아 극동지역을 중심으로 기존의 댐을 다목적댐으로 변경하는 연구를 진행하였다[20]. 최근에는 Choo 등은 기존 상수원 공급 댐을 다목적댐으로 전환하였을 때 하류 유역의 홍수저감율을 분석하였다[21].

또한 우수저류조와 배수펌프장을 통해 홍수를 저감하는 연구도 지속적으로 연구되고 있다. Chen 등은 하류에 위치한 펌프장 용량이 충분하지 않은 경우, 하류에서 new flooding hot-spots이 생겨나고 하류 침수 위험이 증가하기 때문에 홍수 관리를 위해서 하류의 배수관리가 중요하다고 판단했다[22].

부산시에서는 계속 신규 방재시설물을 건설하지만 피해는 여전히 계속되고 있다. 부산시는 침수가 자주 발생하는 수영강과 온천천 하류에 배수펌프장을 현재 15곳을 건설하였다. 현재 배수펌프장은 배수펌프장마다 설치되어 있는 수위계에 의해서 작동되며 하천의 수위는 고려되지 않는다. 하천의 수위상승이 고려되지 않는다면 하천이 범람할 가능성이 높아지고 하천으로 빗물이 배수되는 많은 유역들이 배수 불가로 침수되게 된다.

또한 현재 부산시가 배수펌프장을 운영하는 방식은 각 배수펌프장마다 개별적으로 운영하고 있다. 비상시에는 부산시청에서 '컨트롤 타워'를 구성하는데 이것은 모두 사람이 모니터링해서 배수펌프장에 명령을 내리는 방식이다. 게릴라성 폭우는 갑작스럽게 발생하는데 '컨트롤 타워'를 구성하기 위한 시간이 많이 필요하기 때문에 비효율적이며 즉각 대응하기 힘들다.

따라서 기존의 배수펌프장 운영 방식을 기후변화로 일어나는 게릴라성 강우에 맞게 변경해야하며 본 연구는 기후변화에 맞는 새로운 배수펌프장 운영 방식을 제시하였다.

2. 연구유역 구성

2.1 개요

Fig. 1은 부산의 주요하천인 수영강과 온천천이다. 수영강은 하천연장 28.6 km, 유역면적 198.8 km²의 강이며 수영만으로 배출된다. 수영강은 대부분의 유역이 도심지를 통과하기 때문에 하천이 범람하게 되면 큰 피해가 발생한다. 수영강 하류 유역에는 약 570,000 명이 살고 있고 인구 밀도가 높아 대부분의 차량들이 지하주차장에 있기 때문에 하천이 범람하게 되면 인명피해와 재산피해가 크다.



Fig. 1. Study Area

온천천은 하천연장 14.13 km, 유역면적 56.28 km²의 강이며 수영강으로 유입된다. 대부분의 유역이 도심지를 관통하는데 낙후된 구도심지들이다. 또한 온천천은 불투수 면적이 약 49%인데 대부분 하천을 둘러싸고 있다. 따라서 온천천은 게릴라성 강우에 약할 수밖에 없으며 온천천 하류는 평균경사 12.53°로 경사가 낮고 평균

하폭은 약 49 m로 수영강에 비해 상대적으로 좁기 때문에 매년 자주 범람한다.

본 연구에서는 기존 배수펌프장 운영방식 대비 새로운 배수펌프장 운영방식으로 하천 하류지점의 수위를 추가로 고려하는 방식을 제안하며 이것을 Storm Water Management Model(SWMM)을 사용하여 분석하였다. 배수펌프장이 작동하기 위한 알고리즘을 SWMM에 코딩하였다. 전체적인 연구 흐름은 Fig. 2와 같다.

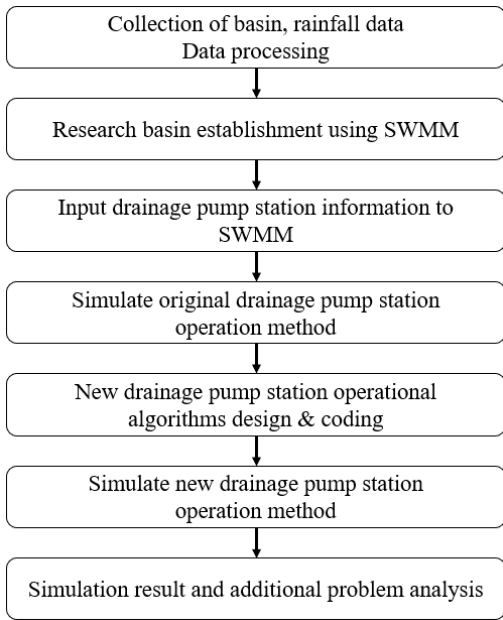


Fig. 2. Research Flow

2.2 강우데이터

강우데이터 입력을 위해 부산지역의 과거 10년 데이터를 수집하였다. Korea Meteorological Administration(KMA)에서 제공하는 Automatic Weather Station(AWS)를 통해 과거 강우데이터를 수집하였다. AWS는 정부의 지상관측 Station이고 기온, 강수, 바람, 습도, 기압 등의 다양한 데이터를 제공한다. 수집된 데이터는 2013년~2021년의 1분 단위의 일일 데이터이다. 그 중 강우량이 200 mm에 근접한 데이터를 사용하였다.

2.3 연구유역도 구축

본 연구에서는 부산시의 수영강과 온천천 유역 전체를 SWMM으로 모델링 하였다. 하천 모델은 2014년(수영

강)과 2017년(온천천)에 측량된 도면을 부산시에서 제공받아 구축하였다. 또한 유역경사, 불투수면적과 같은 유역정보와 우수관망, 유역 내 배수펌프장에 대한 정보는 한국 정부에서 운영하는 Information Disclosure Portal, Public Data Portal에 최신 자료를 요청하여 입력하였다.

본 연구에서 중요한 배수펌프장은 수영강 온천천 유역 내에 있는 15개의 배수펌프장 중에서 5개소를 구축하였다. 선정 기준은 첫째, 배수펌프장에 우수지가 존재하는 지다. 둘째는 하천의 하류에 있는지다. 그 이유는, 하천의 수위가 내려갈 때까지 빗물을 저장할 우수지가 있어야 하고, 침수가 자주 발생하는 지역들이 하류기 때문에 하류의 수위저감을 목표로 시뮬레이션할 것이다. 그런데 하류로부터 멀리 떨어져 있으면 도달시간으로 인해 오차가 발생할 것이기 때문에 하류에 위치해 있는 배수펌프장 모델들을 구축하였다. Fig. 3은 구축한 배수펌프장의 위치와 침수가 자주 발생하는 지역의 위치도이다. Table 1은 구축한 배수펌프장의 간단한 정보이다.

Fig. 3에서 표시한 침수 발생 지점은 2014년부터 2020년까지 수집 가능한 피해 사례 중에서 하천이 범람하여 발생한 피해를 정리한 뒤, 같은 구역에서 5회 이상 피해가 발생한 지점들을 묶어서 표시한 것이다. 수영강 온천천 합류 지점에서 가장 많은 피해가 발생한 것을 확인 할 수 있고, Station 1 근처에서도 여러번의 피해가 발생한 것을 확인할 수 있다. 따라서 Point 1, Point 2에서 시뮬레이션 결과를 분석하였다.

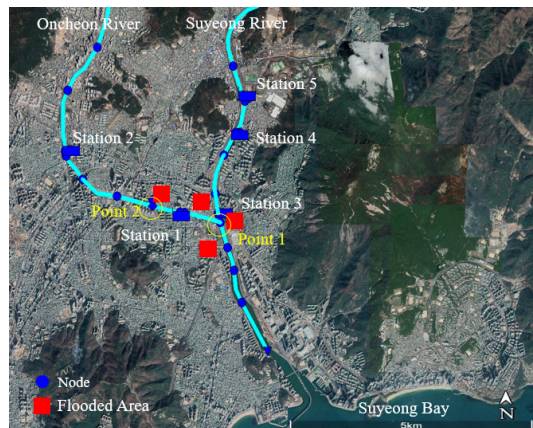


Fig. 3. Pump station and flood analysis point

Table 1. Pump station parameter

Parameter	Station Number				
	1	2	3	4	5
Reservoir Area (m ²)	10	400	500	38	1010
Reservoir Capacity (m ³)	61	1200	1700	75	8500
Drainage Amount (m ³ /min)	100	784	100	44	1460

2.4 알고리즘 구축

본 연구에서 제안하는 새로운 배수펌프장 운영 방식은 기존의 내수위를 고려하는 방식에서 하천의 수위가 위험한 수준까지 상승하였을 때 유수지가 있는 배수펌프장의 작동을 중단하여 하천의 유량이 빠져나간 뒤 재작동하는 방식이다(Fig. 4).

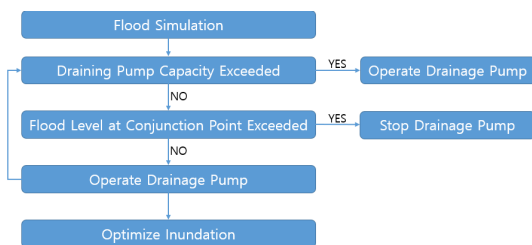


Fig. 4. New pump station operation rule

Fig. 4와 같은 알고리즘을 SWMM의 'Control' 기능을 이용해 코딩하였으며 기존 배수펌프장 작동 방식과 새로운 배수펌프장 작동 방식을 비교하였다. 기존보다 복잡하지만 기존 펌프의 교체가 필요 없으며 현재 배수펌프장의 시스템을 Fig. 4와 같이 작동하도록 프로그래밍만 하면 된다. 따라서 새로운 배수펌프장 운영방식은 비용적, 시간적으로 효율이 좋다.

또한 본 연구에서는 SWMM을 통한 침수분석을 위해 설계홍수위를 경계조건으로 두고 시뮬레이션 하였다. 그리고 SWMM 모델에서는 HEC-RAS와 달리 유역에 유입되는 유입량이 시계열 단위의 강우사상 입력을 통해 유입량 계산이 된다. 따라서 Fig. 4의 알고리즘은 시계열 단위로 작동이 된다.

3. 적용 및 결과

3.1 새로운 펌프 운영 방식의 효율

본 연구에서는 새로운 배수펌프장 운영 방식의 효과를 검토하기 위해 Point 1, 2의 설계홍수위를 적용하였다. Station 3, 4, 5는 Point 1을 기준으로 하고, Station 1, 2는 Point 2를 기준으로 한다. Fig. 5~6은 Point 1, 2의 침수 저감량 그래프이다.

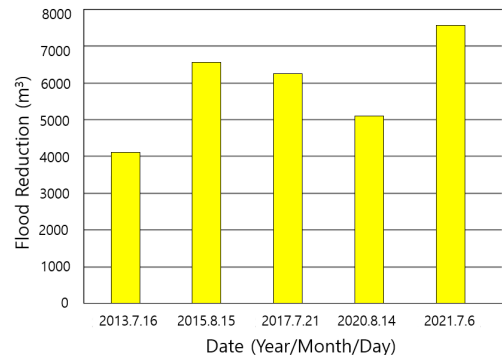


Fig. 5. Flood reduction of Point 1

Point 1(Fig. 5)에서 평균 5216 m³만큼 침수가 저감되었다. 6개의 강우데이터를 시뮬레이션 하였지만 '2018.09.05', 경우에는 침수가 발생하지 않아 그래프에서 제외하였다.

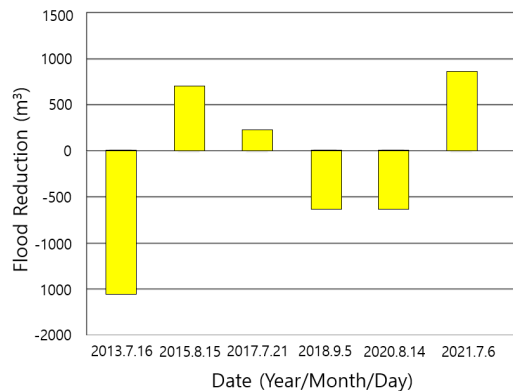


Fig. 6. Flood reduction of Point 2

6개의 강우데이터를 시뮬레이션 하였을 때 Point 2(Fig. 6)에서 3가지 경우의 데이터에서만 침수저감이 되었고, 평균 615 m³의 침수가 저감되었다. 하지만 3가지의 데이터에서는 침수가 늘어났는데 그 이유는 4가지이다.

- (1) 온천천 유역의 불투수 면적은 약 49 %이고 대부분 하천을 둘러싸고 있어 빗물이 하천으로 직방류

된다.

- (2) 온천천의 폭은 수영강에 비해 비교적 좁다.
- (3) Point 2의 하상경사가 낮다.
- (4) 온천천은 수영강으로 합류되기 때문에 수영강의 수위가 상승하면 온천천의 방류가 늦어진다.
- (5) Station 1은 부산의 대표적 구도심지에 설치되어 있기 때문에 많은 유량을 온천천으로 배수한다. 하지만 Table 1을 보면, 타 배수펌프장들에 비해 유량을 저장할 유수지가 상당히 부족하다.

이것은 유입되는 유량을 대부분 바로 온천천으로 배수할 수 밖에 없는 상황인 것을 알 수 있으며, 결과적으로 온천천의 부담을 가중시킨다고 판단된다.

본 연구에서 제안하는 새로운 배수펌프장 운영방식은 배수펌프장의 유수지를 기준으로 작동하기 때문에 유수지의 용량에 영향을 받는다. 하지만 Station 1의 경우는 하천의 유량이 빠져나갈 동안 충분한 유량을 저장하기에 상대적으로 부족하기 때문에 Fig. 6의 경우 같이 침수 저감이 제대로 이루어지지 않는 모습을 보인다. 따라서 온천천의 구조적 결함과 Station 1의 구조적인 결함을 보완할 대책이 지방 정부에 요구된다고 판단된다.

본 연구에서는 위 결함들을 보완할 시 침수저감 효과를 알아보기 위해 3.2절과 같이 추가적인 분석을 진행하였다.

3.2 Point 2의 구조적 보완

앞서 기술한 Point 2에서 침수가 늘어난 이유는 온천천이 침수에 취약한 구조적인 문제점을 갖고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 제안하는 새로운 배수펌프장 운영방식을 적용하기 위해 온천천에는 간단한 구조적 문제점 보완이 필요하다. 온천천의 구조적인 문제를 보완하기 위하여 Point 2 인근에 가상 스토리지 설치를 가정하였다. 가상 스토리지는 Point 2에서 180 m 떨어진 공원 지하에 설치하였으며 면적 50 m²에 높이 5.5 m의 작은 스토리지이다. 가상 스토리지의 침수를 막기 위해 가상 스토리지의 수위가 4 m를 넘으면 판로가 닫히도록 코딩하였다.

가상 스토리지를 설치하여 Point 2의 구조적 문제를 보완했을 때 침수저감량 그래프는 Fig. 7과 같다.

Fig. 6과 Fig. 7을 비교해보면 온천천에는 침수에 취약한 구조적인 문제점을 가지고 있고, 이것을 가상 스토리지와 같이 조금만 보완하면 새로운 배수펌프장 운영 방식으로 충분한 침수저감 효과가 있다.

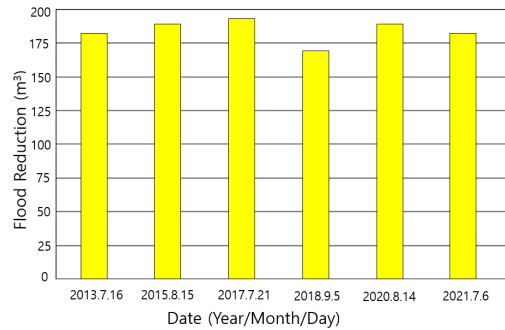


Fig. 7. Flood reduction of Point 2 (applying structural problem resolution)

4. 결론

본 연구에서는 기후변화로 인한 도시하천 침수를 줄이기 위해 새로운 배수펌프장 운영 방식을 제안하고 SWMM을 통해 분석하였다.

기존에는 유역의 내수위가 상승하면 배수펌프장이 작동하였다. 하지만 하천 수위의 상승은 고려되지 않아 하천 수위가 설계홍수위를 초과하면 배수펌프장이 기능을 잃게 된다. 따라서 하천 수위가 설계홍수위를 초과할 때 유수지가 있는 배수펌프장의 작동을 중지한다면 하천의 유량이 쉽게 배출될 수 있다. 이 방법은 많은 시간과 비용이 필요한 배수펌프장 건설보다 경제적이며 효율적이다.

본 연구는 SWMM으로 분석하였다. SWMM을 사용한 이유는 유역의 침수 여부와 침수량이 도출되기 때문에 직관적인 분석이 가능하기 때문이다. 또한 유역과 하천 정보에 대해 상세한 입력이 가능하고 유역의 다양한 시설물에 대해 입력이 가능하다. 그리고 자체적으로 코딩할 수 있는 도구를 제공하기 때문에 실제상황과 유사하게 시뮬레이션 할 수 있다.

분석을 위한 강우데이터는 2013년 ~ 2021년의 일일 강우데이터중 강수량이 200 mm에 근접하는 강우 데이터 6개의 강우를 사용하였다. 분석결과 Point 1은 평균 5216 m³가 저장되었다. 이것은 하천 수위와 관계없이 내수위만으로 운영하는 현재의 방식을 하천의 수위를 고려하는 방식으로 바꾸는 것이 침수저감을 위해 필요하다는 것을 의미한다.

하지만 연구가 진행됨에 따라 온천천의 구조적 문제가 발견되었다. 온천천의 침수저감량을 분석한 Point 2는 새로운 배수펌프장 운영 방식을 적용해도 일부 강우에서 침수가 저장되지 않았다. 이유는 온천천의 불투수 면적,

하천 폭, 하상 경사, 수영강의 수위 때문이다. 이것을 작은 가상 Storage로 보완하니 Point 2에서 평균 615 m³의 침수저감 효과가 나타났다.

따라서 본 연구에서 제안하는 새로운 배수펌프장 운영 방식은 도심지의 소하천이나 배수펌프장 유수지의 용량이 적을수록 효과가 없을 수 있다. 하지만 가상의 Storage로 보완했을 때 효과가 나타난 것과 같이, 구조적인 문제를 해결해서 본 연구의 결과를 적용해야 한다고 판단된다. 실제로 부산광역시에서는 온천천의 구조적인 문제를 해결하기 위해 우수저류조 등의 건설을 지속적으로 계획하고 있다. 이와 같이 하천의 구조적 개선은 침수에 대비하기 위해 지속적으로 개선될 것이며, 본 연구를 바탕으로 배수펌프장에 대한 구조적 개선 및 새로운 배수펌프장 운영 방식 적용 또한 앞으로 필요하다고 판단된다.

본 연구결과에서 새로운 배수펌프장 운영 방식은 기후 변화로 게릴라성 집중호우가 증가하는 지역에서 현재의 배수펌프장 운영 방식보다 효과적으로 침수를 저감할 수 있다는 것을 보여준다. 게릴라성 집중호우는 예측이 힘들고 짧은 시간에 폭우가 내리기 때문에 하천의 유량이 빠르게 배수되지 않는 지역에서 자주 침수를 일으킨다. 따라서 배수펌프장을 건설할수록 하천의 수위는 빠르게 상승하며 하천으로 배수되는 모든 유역에서 침수가 발생할 수 있다.

본 연구에서 제안하는 새로운 배수펌프장 운영 방식을 온천천에 적용하기 위해서는 우수저류조를 통한 보완이 필요하다. 하지만 부산시는 지속적으로 우수저류조를 건설하고 있기 때문에 온천천의 구조적 문제를 해결할 수 있다. 또한 본 연구가 제안하는 새로운 배수펌프장 운영 방식은 이미 건설되어 있는 배수펌프장을 이용하는 방법이기 때문에 부산뿐만 아니라 하천 하류에 위치하여 홍수에 취약한 세계의 도시들도 적용할 수 있다. 하지만 본 연구에서 제시하는 방법은 배수펌프장이 운영되고 있는 유역에서만 적용이 가능하고 배수펌프장이 작동을 중지할 때 물을 저장할 수 있는 유수지가 필요하다. 따라서 모든 유역에서는 적용할 수 없는 단점이 존재한다. 하지만 본 연구가 기존 배수펌프장을 활용해 창의적으로 침수 저감 방법을 찾은 것처럼 다른 지역에도 적용이 가능한 경제적이고 효과적인 침수 저감 방법을 개발하는데 도움을 준다. 본 논문을 통해 배수펌프장이 운영되고 있는 많은 도시에서 이상기후로 인한 폭우 피해가 발생하는 지역이 개선되고, 연구가 발전되어 많은 도시에서 피해가 감소되기를 기대한다.

References

- [1] S. J. Jang, "A Study on the Proper Size of Rainwater Stored Tank in Submerged Districts Using SWMM Program", *Journal of the Korean Housing Association*, Vol.20, No.3, pp.69-76, Jun. 2009.
- [2] J. H. Lee, Y. H. Song, D. J. Jo, "Determination of Optimal Locations of Urban Subsurface Storage considering SWMM Parameter Sensitivity" *Journal of KOSHAM*, Vol.13, No.4, pp.295-301, Aug. 2013, DOI: <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2013.13.4.295>
- [3] D. S. Shin, J. B. Park, D. K. Kang, D. J. Jo, "An Analysis of Runoff Mitigation Effect Using SWMM-LID Model for Frequently Inundated Basin" *Journal of KOSHAM*, Vol.13, No.4, pp.303-309, Aug. 2013, DOI: <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2013.13.4.303>
- [4] J. S. Kim, W. H. Lee, "Flood Inundation Analysis in Urban Area Using XP-SWMM" *Journal of the Korean Geoenvironmental Society*, Vol.16, No.1, pp.29-36, Jan. 2015, DOI: <https://doi.org/10.14481/jkges.2015.16.1.29>
- [5] J. W. Lee, G. H. Chung, "Analysis of runoff speed depending on the structure of stormwater pipe networks" *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol.51, No.2, pp.121-129, Feb. 2018, DOI: <https://doi.org/10.3741/JKWRA.2018.51.2.121>
- [6] S. R. Kim, "A Study on the Linkage of Urban Disaster Prevention Repair Facilities Considering the Downstream Water Level of the River" Ph.D dissertation, Pusan National University. 2020.
- [7] J. W. Lee, I. C. Park, M. M. Kim, W. C. Jo, "Analysis of the Inland Flood Prevention by Drainage Pumping Station" *Korea Water Resources Association*, pp.799-803, May. 2004.
- [8] K. I. Gil, C. N. Lee, G. H. Kim, J. W. Han, S. K. Kim, "Runoff simulation for operation of small urban storm water pumping station under heavy storm rainfall conditions" *Journal of Wetlands Research*, Vol.8, No.2, pp.75-81 Jun. 2006.
- [9] K. B. Sim, D. J. Jo, E. S. Kim, "Study on Evaluation of Flood Disaster Reduction Ability Based on Operation Scenarios at the Pump Station" *Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.8, 2016.
- [10] S. J. Jang, "A Study on the Proper Size of Rainwater Stored Tank in Submerged Districts Using SWMM Program" *Journal of the Korean Housing Association*, Vol.20, No.3, pp.69-76, Jun. 2009.
- [11] T. S. Sohn, D. H. Kang, J. K. Jang, H. S. Shin, "A study of Assessment for Internal Inundation Vulnerability in Urban Area using SWMM" *Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.10, No.4, pp.105-117, Aug. 2010.
- [12] L. Jiang, Y. Chen, H. Wang, "Urban flood simulation based on the SWMM model". *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*.

Guangzhou, China, pp.186-191, May, 2015.

DOI: <https://doi.org/10.5194/piahs-368-186-2015>

- [13] A. M. Rabori, R. Ghazavi, "Urban Flood Estimation and Evaluation of the Performance of an Urban Drainage System in a Semi-Arid Urban Area Using SWMM" *Water Environment Research.* Vol.90, No.12, pp.2075-2082, Dec, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.2175/106143017X15131012188213>
- [14] Junaini, L. M. Ermalizar, A. Junaini, "Flood simulation using EPA SWMM 5.1 on small catchment urban drainage system" *International Conference on Disaster Management.* Vol.229, 229, Nov, 2018.
DOI : <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822904022>
- [15] S. E. Kim, S. E. Lee, "Dongwook Kim, Chang Geun Song; Stormwater Inundation Analysis in Small and Medium Cities for the Climate Change Using EPA-SWMM and HDM-2D". *Journal of Coastal Research.* Vol.85, pp.991-995. May, 2018.
DOI : <https://doi.org/10.2112/SI85-199.1>
- [16] A. Vassilios, Tsihrintzis, R. Hamid, "Runoff quality prediction from small urban catchments using SWMM" *Hydrological Processes.* Vol.12, No.2, pp.311-329. Dec, 1998.
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)
- [17] W. chen, G. Huang, H. Zhang, Urban stormwater inundation simulation based on SWMM and diffusive overland-flow model. *Water Science & Technology.* Vol.76, No.12, pp.3392-3403. Dec. 2017.
DOI : <https://doi.org/10.2166/wst.2017.504>
- [18] Y. M. Choo, D. J. Jo, G. S. Yun, E. H. Lee, "A Study on the improvement of flood forecasting techniques in urban areas by considering rainfall intensity and duration" *Water.* Vol.11, No.9, 1883. Sept. 2019.
DOI : <https://doi.org/10.3390/w11091883>
- [19] S. Blazkova, K. Beven, "Flood frequency estimation by continuous simulation of subcatchment rainfalls and discharges with the aim of improving dam safety assessment in a large basin in the Czech Republic" *Journal of Hydrology.* Vol.292, No.1-4, pp.153-172. Jun. 2004.
DOI : <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.12.025>
- [20] V. Badenko, N. Badenko, A. Nikonorov, D. Molodtsov, V. Terleev, J. Lednova, V. Maslikov, "Ecological aspect of dam design for flood regulation and sustainable urban development" *MATEC Web of Conferences.* Vol.73. pp.03003. 2016.
DOI : <https://doi.org/10.1051/mateconf/20167303003>
- [21] Y. M. Choo, S. B. Sim, Y. W. Choe, "A Study on Urban Inundation Using SWMM in Busan, Korea, Using Existing Dams and Artificial Underground Waterways." *Water.* Vol.13, No.12, pp.1708. Jun. 2021.
DOI : <https://doi.org/10.3390/w13121708>
- [22] W. chen, G. Huang, H. Zhang, Urban stormwater inundation simulation based on SWMM and diffusive overland-flow model. *Water Science & Technology.*

Vol.76, No.12, pp.3392-3403. Dec. 2017.

DOI : <https://doi.org/10.2166/wst.2017.504>

전 해 성(Hae-Sung Jeon)

[정회원]



- 2019년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 박사과정

<관심분야>

토목공학, 수공학

추 연 문(Yeon-Moon Choo)

[정회원]



- 2018년 2월 : 고려대학교 건축사 회환경공학과 (공학박사)
- 2018년 2월 ~ 2018년 9월 : 고려대학교 방재연구소 연구교수
- 2018년 10월 ~ 2020년 8월 : 부산대학교 BK21+사업단 계약교수
- 2020년 9월 ~ 현재 : 부산대학교 생산기술연구소 연수연구원

<관심분야>

토목공학, 수공학, 정보엔트로피이론