J. Korean Soc. Hazard Mitig.
Vol. 22, No. 5 (Oct. 2022), pp.219~226
https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2022.22.5.219

ISSN 1738-2424(Print)
ISSN 2287-6723(Online)
www.kosham.or.kr

하천방재

하천 둔치의 침수양상 분석 연구

Analysis of Flooding Patterns in River Terraces

안동희* · 전우열** · 고현수***
An, Donghee*, Jeon, Wooyeol**, and Ko, Hyunsoo***

Abstract

River terraces are utilized as a space for water-friendly leisure activities in urban areas and communities. In this study, river terrace flooding was defined and selected as a maintenance risk factor for ecofriendly infrastructure. Previous studies did not propose specific measures for analyzing the pattern of river terrace flooding and restoring river terrace resilience. Therefore, this study attempted to analyze the pattern of river terrace flooding through numerical modeling of the entire Taehwagang National Garden. Based on the analysis results obtained using the InfoWorks ICM model, the higher the slope of the rising part of the water level curve, the higher the inundation range, even if the same water level conditions. Moreover, the specifications of the starting point of the inundation and the diffusion pattern were confirmed. This study contributes to strengthening urban disaster resilience, such as the planning and maintenance of various infrastructural facilities and the provision of forecast and warning manuals.

Key words : River Terrace Flooding, Eco-friendly Infrastructure, InfoWorks ICM, Maintenance

요 지

도시지역의 둔치는 활발한 친수활동 및 커뮤니티의 공간으로 활용되고 있다. 본 연구에서는 둔치가 물에 잠기는 현상을 친환경 사회기반시설의 유지관리 위험요인으로 특정하였다. 현재 국내외의 연구에서는 둔치의 침수 양상에 대한 분석 및 둔치 복원력 회복의 구체적 방안은 제시되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 태화강국가정원 일원의 수치모델링을 통해 둔치침수의 양상을 분석하고자 한다. InfoWorks ICM 모형을 이용한 분석결과 동일한 수위라 하더라도 수위곡선의 상승부 기울기가 가파를수록 침수범위가 증가하는 현상 및 침수의 시작지점의 특정과 확산의 양상을 확인하였다. 이러한 결과를 통해 둔치 내 각종 기반시설물의 계획 및 유지관리와 예·경보 매뉴얼 구축 등 도시 재난 복원력 강화에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 둔치침수, 친환경 사회기반시설, InfoWorks ICM, 유지관리

1. 서 론

도시하천의 둔치는 평상시 활발한 친수 및 여가활동이 이루어지는 공간일 뿐 아니라 홍수시 하천유량을 소통시켜야 하는 공간이기도하다. 이러한 지리적, 사회적 특징 때문에 도시하천의 둔치 관리는 매우 복잡하고 전문적이다. 일정량 이상의 하천유량이 발생할 경우 홍수위는 상승하게 되고 강턱을 넘어 둔치는 물에 잠기게 된다. 통상 제외지의 둔치가 물에 잠기는 현상을 침수라 정의하지 않는다. 그러나 둔치는 친환경 사회기반시설이며, 물에 잠기는 현상을 위험요인으로 볼 수 있다. 특히 둔치에는 많은 사회기반시설들이 실제 존재하고 홍수시 많은 부분의 공공시설 및 인명피해가 둔치에서 발생하고 있는 실정이다. 따라서 둔치가 물에 잠기는 현상을 침수 또는 둔치침수로 칭하고 둔치침수 분석의 필요

*정회원, 한밭대학교 토목공학과 박사과정(E-mail: adhee65@korea.kr)
Member, Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Hanbat University
**정회원, ㈜부광엔지니어링 토목사업1부 부장
Member, Head of Civil Engineering Division 1, Boogwang Engineering Co., Ltd
***교신저자, 정회원, 울산대학교 건설환경공학부 겸임교수(Tel: +82-52-266-0081, Fax: +82-52-261-8558, E-mail: water4dunia@gmail.com)
Corresponding Author, Member, Adjunct Professor, Department of Construction and Environmental Engineering, Ulsan University

성을 제시하는 연구가 필요하다.

본 연구의 대상지인 태화강 국가정원은 국가하천 태화강의 둔치에 위치해 있다. 또한 태화강 하구에서 약 9 km 상류에 위치하나 동해의 조위에 영향을 받는 구간에 해당된다. 태풍 '차바', '미탁', '하이선' 및 '오마이스' 등 집중호우나 주요 태풍 내습시 둔치침수에 의한 관리시설물 침수피해가 발생하였으며, 수위가 둔치 아래로 내려가면 피해시설을 복구하고 퇴적된 토사를 처리하는데 많은 인력과 예산이 소요되고 있다.

최근 연구동향을 살펴보면, Choi et al. (2014)은 도시유역의 둔치가 운동공간 및 문화예술을 위한 행사장 등으로 다양하게 변화되고 있음에 착안하여 도시하천의 배수위 영향이 고려된 합류점 수위와 예·경보 발령 지점 수위에 따른 지속시간별 홍수 예·경보 강우량을 산정하였으며, 저수 예·경보의 경우 하천의 배수위 영향구간 내 둔치가 월류하는 지점으로 특정하여 선정하였다.

Lee et al. (2018)은 태풍 산바가 낙동강 유역에 미친 피해특성을 분석하면서 홍수피해의 주요 양상으로 둔치 침식 및 세굴 등을 특정하고 둔치에 설치한 데크하부 세굴을 피해현황으로 조사하였다. 특히 물리적 평가기법 적용시 합류점, 구조물 설치지점 등에 2차원 혹은 3차원 모형을 이용하면 결과의 정밀도를 높일 수 있을 것으로 제안하였다. Song and Lee (2016)은 토지이용특성을 활용한 도시유역 중소하천 분류기준을 설정을 제안하면서 강우발생시 둔치 월류에 따른 인명피해나 하천 월류에 의한 사회시설 피해의 가능성이 높은 중소하천을 분류한 바 있다. Kim et al. (2017)은 둔치 침수해석을 위한 1차원 FLDWAV 모형의 예측 정확도를 개선하는 방안을 제시하면서 친수 목적으로 활용될 수 있는 둔치 공간의 침수예측 현황 및 개선방안을 검토하고 그 효과를 제시한 바 있다. Ku et al. (2015)은 단기간에 수위가 급변하는 태풍사상에서 둔치에서의 홍수위험도를 평가하기 위해 2차원 유한차분모형인 Nays2D 모형을 이용하여 모형의 적용성을 검증하고 이를 통해 둔치구간에서의 홍수위험도를 평가하였다. 이와 유사하게 Moon et al. (2021)은 도시하천의 구간별 둔치 범람수위와 범람 기준을 제시하고 각 자치구별로 상이한 예경보 수위 기준을 통합하여 산정하는 방안을 서울의 도림천을 대상으로 제안하였고 이를 이용하면 효율적인 하천방재계획 수립에 기여할 수 있다고 주장하였다.

국외의 선행연구로 중국의 Cheng et al. (2017)은 진안시의 스펀지 도시 건설 시범지역에 대해 추가적인 홍수위험구역을 설정하는데 InfoWorks ICM 2D 모델을 활용하였고 과거의 홍수 기록을 기반으로 분석한 결과는 매우 합리적이라고 주장하였다. Azad et al. (2017)은 홍수 예측에 사용할 수 있는 수문학적 모형의 대부분이 단기간에 더 초점을 맞추는데 착안하여 확률분포수분모형을 사용하면 모형을 더 길게 지속할 수 있다고 주장하였다. 이는 홍수예측 모형 개발에 대한 예비적 발견에 해당된다며 이를 증명하기 위해 InfoWorks ICM을 이용하여 Kelantan강 유역의 범람원에 대한 2차원 홍수위험지도를 제시한 바 있다.

기존 국내외 선행연구는 주로 홍수가 둔치에 미치는 피해나 예·경보 기준 또는 홍수위험구역을 설정하는데 집중하고 있거나, 장기적인 홍수예측모형 구축의 선행연구 정도로 진행된 사례였다. 또한, 태화강 국가정원과 같이 매우 활발한 친수활동이 이루어지는 장소의 범람 특성(시작위치, 시기, 범람확산 양상 등)을 확인할 수 있는 2차원적 분석 기준 등은 제시되지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 서울의 한강시민공원과 더불어 대표적인 둔치 활용사례인 태화강 국가정원을 대상으로 과거피해조사, 침수흔적조사, 현장답사를 통한 침수사례를 검토하고 여러 홍수사상 조건에서 침수의 양상을 2차원적으로 분석하여 국가정원의 유지관리와 홍수시 재해를 예방하기 위해 국지적으로 가장 관심을 가져야 하는 위치를 제시하고자 한다.

2. 분석대상 및 방법

2.1 대상지역

대상지역은 울산광역시 중구 및 남구에 걸쳐 조성되어 있는 태화강 국가정원이며, 북측에서 소하천인 명정천이 태화강 둔치를 횡단하여 태화강으로 유입된다. 국가정원 중심부에는 실개천이 1개소 있으며 만조시에는 실개천을 통해 상류방향으로 하천수가 유입되고 간조시나 평상시는 하류방향으로 유하한다. 국가정원의 위치는 하천만곡부의 제외지에 해당되며 평상시에는 활발한 하천이용이 이루어지고 있으나 홍수시에는 출입을 통제하고 홍수소통의 역할을 하고 있다.

2.2 피해사례

2019년 국가정원 지정 이후, 1~2년마다 반복되는 침수는 방문객과 유지관리주체에게는 큰 불편함이 아닐 수 없다. 최근 10년간 주요 침수피해를 나열해 보면 2016년 태풍 '차바'(Fig. 1(a), Yonhap News Agency, 2016) 상륙시 완전 침수되었으며, 2019년 태풍 '미탁'(Fig. 1(b), Kyungsangilbo, 2019), 2020년 태풍 '하이선'(Fig. 1(c), Yonhap News Agency, 2020), 2020년 태풍 '오마이스'(Fig. 1(d)) 내습시 둔치의 일부가 침수되었다. 태화강 국가정원의 홍수시 침수양상을 규명하고 다양한 측면에서 활용될 수 있는 정보를 제공하기 위해 과거 피해사례를 조사하였다. 특히 '오마이스' 내습시 소하천 명정천 합류부(Fig. 2(a)), 오산광장(Fig. 2(b)), 실개천 하류부(Fig. 2(c)) 및 무궁화정원(Fig. 2(d))을 선정하여 흔적수위 조사를 실시하고 후술될 모형의 검보정에 활용하였다.

2.3 분석방법

본 연구에서는 둔치 및 하도구간에서 2D 수문-수리 모델

(a) Chaba (2016)

(b) Mitag (2019)

(C) Haishen (2020)

(d) Omais (2021)

Fig. 1. Cases of Damage

(a) Myeongjeong Stream

(b) Osan Square

(C) Small Stream

(d) Mugunghwa Garden

Fig. 2. Flood Marks Investigation

링을 위해 Innovyze 사의 InfoWorks ICM 소프트웨어 패키지를 사용하였다. InfoWorks ICM은 입력 자료가 간단하고 Flexible Mesh를 적용하여 정방형 모형에 비해 정밀한 해석이 가능하며 관로 해석과도 연계가 가능해 유지관리 및 향후 확장성에서 유리하다. 2D 표면흐름(지표수흐름)의 수학적인 표현은 다음과 같이 보수적인 형태로 만들어진 비선형 천해방정식을 기반으로 한다. 사용된 난류 모델은 $\kappa-\epsilon$ 난류모델을 사용하였으며, 난류 모델의 수송방정식은 Eqs. (1)~(3)과 같다.

Continuity equation:

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial (hu)}{\partial x}+\frac{\partial (hv)}{\partial x}=q_{1D} \tag{1}$$

Momentum equation:

$$\frac{\partial (hu)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(hu^2+\frac{gh^2}{2})+\frac{\partial (huv)}{\partial y} = -gh(S_{0,x}-S_{f,x})+q_{1D}u_{1D} \tag{2}$$

$$\frac{\partial (hv)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(hu^2+\frac{gh^2}{2})+\frac{\partial (huv)}{\partial x} = -gh(S_{0,y}-S_{f,y})+q_{1D}v_{1D} \tag{3}$$

Eqs. (1)~(3)에서 h는 수위; u와 v는 각각 x 및 y 방향의 속도; g는 중력가속도; $S_{o,x}$와 $S_{o,y}$는 각각 x 및 y 방향의 지반 경사; $S_{f,x}$와 $S_{f,y}$는 각각 x 및 y 방향의 마찰 경사; q_{1D}는 단위면적당 유량; u_{1D}, v_{1D}는 각각 x 및 y 방향의 유량 속도 성분이다. Eqs. (1)~(3)은 Riemann법을 사용한 유한체적법으로 계산된다. 난류 효과는 바닥 저항으로 인한 에너지 손실에 포함된다(Innovyze, 2022).

3. 분석결과

3.1 지형구축

금회 지형자료는 기 수립된 「태화강 하천기본계획(변경)(Busan Construction and Management Administration, 2013)」의 횡단면도(Fig. 3)와 국토정보플랫폼(map.ngii.go.kr) 및 지자체에서 제공하는 수치지형도(1:1,000도, 1:5,000도) 등을 기반으로 구축하였다. 「태화강 하천기본계획(변경)(Busan Construction and Management Administration, 2013)」의 횡단면도는 2007년 하천기본계획에서 측량한 단면으로(Fig. 4), 현재의 태화강 국가정원 및 제외지 지형을 반영하지 못하고 있는 것으로 확인되었다. 따라서 하도구간은 하천기본계획의 횡단면도를 반영하고 그 외 지형은 최근 수치지형도를 통해 자료를 구축하였다. 홍수위 상승에 따른 태화강 국가정원의 침수양상을 분석하기 위해 별도의 범람구역을 설정하였으며, 세부 요소망 구축 현황은 Fig. 5와 같다.

3.2 경계조건

조도계수 등 기초자료는 「태화강 하천기본계획(변경)(Busan Construction and Management Administration, 2013)」과 「울산광역시 중구 소하천정비종합계획(변경)(Jung-gu, Ulsan Metropolitan City, 2015)」의 자료를 변경 없이 적용하였다. 본 연구에서 적용된 각 구간별 조도계수는 Table 1과 같다. 상·하류 경계조건인 홍수량과 홍수위 자료는 낙동강 홍수통제소에서 제공하는 실측 유량 및 수위를 적용하여 분석하였다. 경계조건 적용을 위한 상위계획의 홍수량 검토 결과, 「태화강 하천기본계획[변경](Busan Construction and Management Administration, 2013)」에서는 「태화강 유역종합치수계획

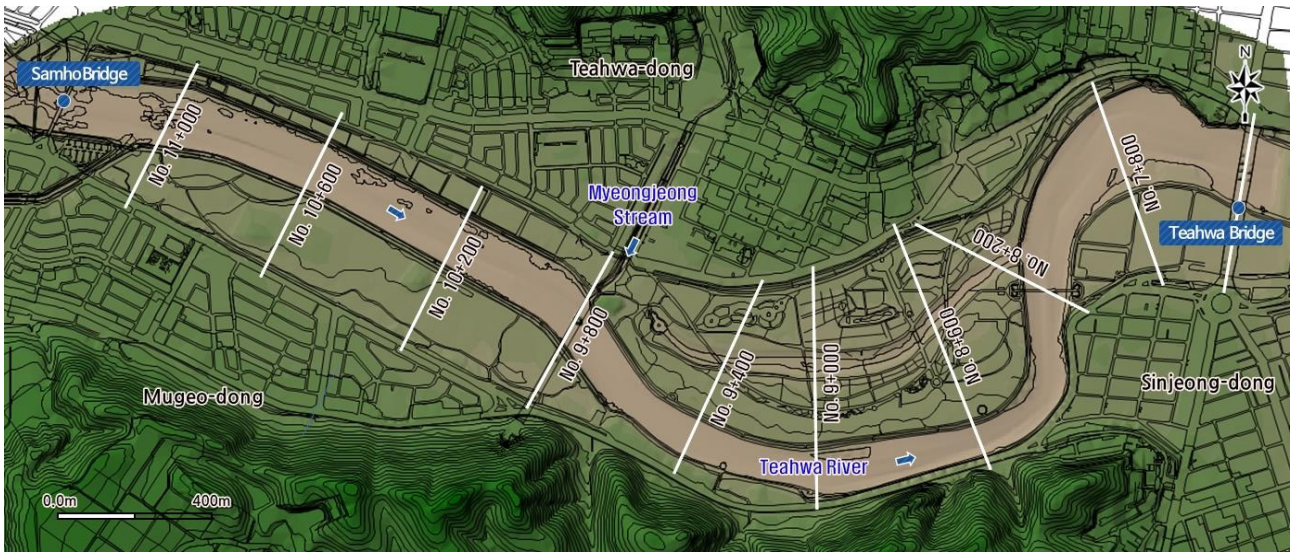
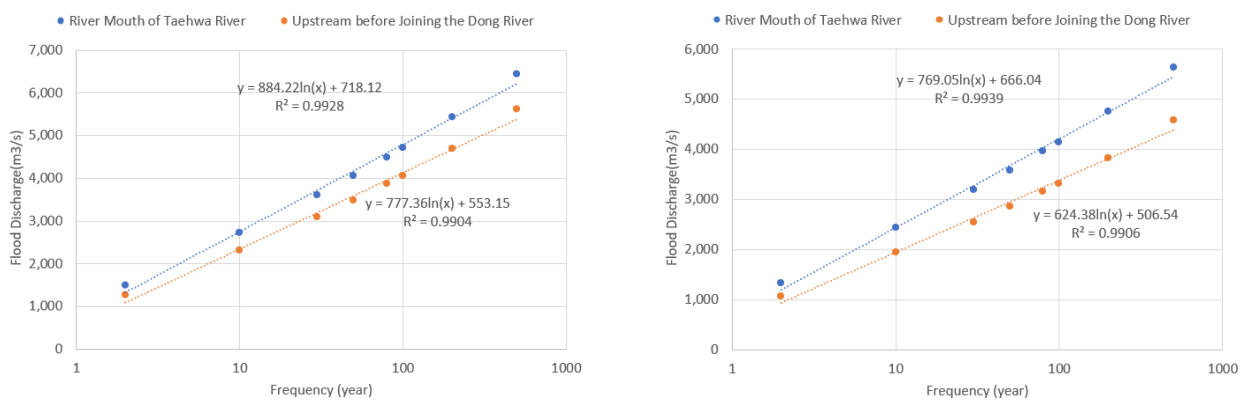


Fig. 3. Cross Section No.

Fig. 4. Element Network



(a) Basic Flood Discharge

(b) Plan Flood Discharge

Fig. 5. Regression Curve of Flood Discharge

Table 1. Roughness Coefficient

River / Stream	Roughness Coefficient
Teahwa	0.030
Myeongjeong	0.035

Table 2. Regression Equation of Flood Discharge

Flood Discharge	River Mouth of Taehwa River
Basic	$884.22 \cdot \mathrm{Ln}(freq.) + 718.12$
Plan	$769.05 \cdot \mathrm{Ln}(freq.) + 666.04$
Flood Discharge	River Mouth of Taehwa River
Basic	$777.36 \cdot \mathrm{Ln}(freq.) + 553.15$
Plan	$624.38 \cdot \mathrm{Ln}(freq.) + 506.54$

Table 3. Flood Discharge Estimation

Taehwa Bridge Station (year, m^3/s)			
2016	2019	2020	2021
2,899.0 (18)	1,579.6 (3)	1,390.5 (3)	1,305.4 (2)

( ) : Estimated Frequency (year)

(Busan Construction and Management Administration, 2008)」를 기반으로 빈도별 목표연도(200년 빈도) 홍수량을 기본홍수량으로, 홍수조절효과를 고려한 하도분담 홍수량을 계획홍수량으로 설정한 바 있다. 또한 최근 수립된「전국 하천유역 홍수량 산정(Ministry of Environment, 2019)」에서는 태화강 유역 내 위치한 대암, 대곡 및 사연댐의 홍수조절 능력을 고려하여 현재홍수량을 산정하였다. 이상의 상위계획 홍수량 비교 결과, 최근 수립된「전국 하천유역 홍수량 산정(Ministry of Environment, 2019)」에서 제시된 홍수량이 모든 지점에서 크게 산정된 바, 금회 태화교 지점에서 실측된 홍수량의 빈도 추정을 위한 홍수량으로 채택하였다. 실측유량의 빈도추정을 위해 태화강 하구지점과 유곡천 합류전 지점에 대한 회귀식을 유도하고 유량을 추정하였다(Tables 2, 3, Fig. 6).

3.3 모형 검보정

금회 적용한 모형의 검·보정을 위해 상·하류에 위치한 "울산시(태화교)"와 "울산시(삼호교)" 수위표의 실측 유량 및 수위 자료를 입력자료로 사용하였으며, 실측수위와 흔적수위를 활용하여 검·보정을 실시하였다. 모형에서 계산된 수위 및 침수범위와 흔적조사결과를 비교한 결과, 수위 상승의 경향성 및 침수범위가 유사하게 모의되었다. 실측수위, 흔적수위, 금회 모델링 결과수위의 비교 결과 Fig. 6과 같이 유사하게 나타나 모형의 검·보정을 완료하였다.

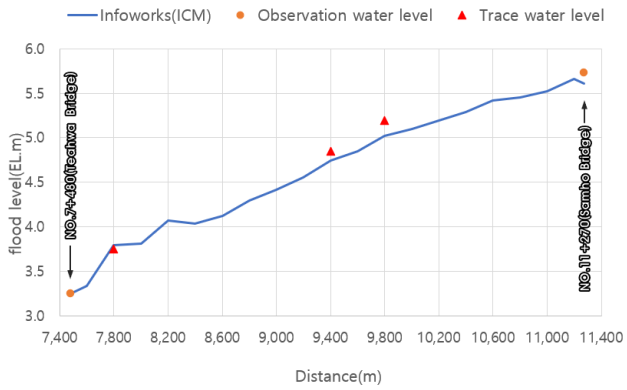
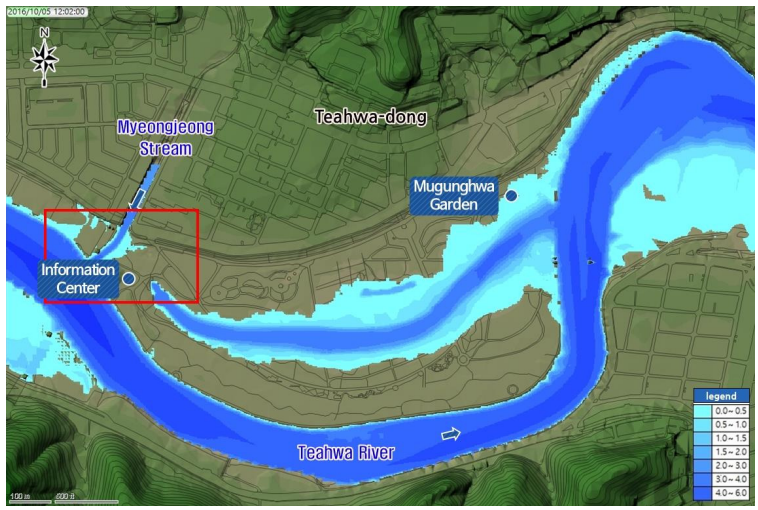
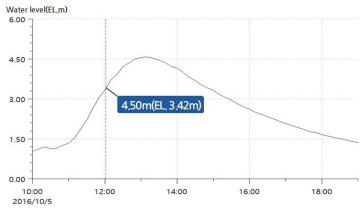


Fig. 6. Comparison of Water Level (Observed-Trace-Modeling)

3.4 침수양상 분석

낙동강 홍수통제소에서 제공하는 실측 유량과 수위 자료를 토대로 2016년, 2019년, 2020년 태풍 내습에 대한 태화강 국가정원(둔치)의 침수양상 분석을 실시하였다. 침수양상 분석은 3개의 홍수사상으로 분석하였다. 분석의 시간적 범위는 홍수시작부터 종료까지 해당되나, 본 논문에서는 각 홍수사상을 대상으로 태화교지점 예경보기준 수위인 4.5 m (EL.3.42)와 최대수위 발생 시점을 비교하였다(Figs. 7~10). 다만 태풍 '하이선'의 경우 최대수위가 태화교 수위관측소 기준 4.5 m를 초과하지 않아 최대수위 발생시 만을 비교하였다(Fig. 11). 침수양상 분석 결과 국가정원의 침수는 크게 3단계에 걸쳐 진행되는 것을 확인할 수 있었다. 1단계, 태화강 수위 상승에 따라 실개천의 역류가 시작되고, 실개천 주변 저지대를 중심으로 침수가 발생된다. 태화교 기준으로 대략 관심수위(3.50 m)에 도달하면 십리대밭교 인근 지역은 이미 침수가 진행되었고, 약 4.00 m에 도달하면 무궁화정원, 작약원, 실개천 주변 산책로가 침수되었다. 수위 상승이 점차 진행되면서 실개천 주변 국가정원 시설물로 침수범위는 급격히 확산되었다. 2단계, 명정천 합류부에서 오산광장 방향으로 범람 및 침수가 진행된다. 홍수 양상에 따라 각각의 수위 차는 발생하고 있으나, 태화교 수위관측소 기준 4.30 m에 도달하면 명정천과 태화강 합류 지점인 오산광장에 침수가 시작된다. 수위가 상승함에 따라 침수범위는 점차 확산되며, 태화교 수위관측소 기준으로 주의수위(4.50 m) 도달 시 오산광장 대부분이 침수되며, 오산광장에 위치한 대숲 중심부 저지대를 통과하여 국가정원으로 침수가 확산되었다. 3단계, 태화강 제방(강변 산책로)의 월류가 시작된다. 태화교 수위관측소 기준 주의수위(4.50 m)에 도달하게 되면 태화강 제방(강변 산책로) 중 낮은 구간부터 월류가 시작되는 것을 확인 할 수 있었다. 주의수위에서는 월류로 인한 국가정원 피해는 경미한 것으로 조사되었으나, 점진적으로 수위가 상승함에 따라 명정천 방면에서 월류된 흐름과 합류되어 국가정원 전체구간으로 침수범위가 확산되는 양상임을 확인하였다.

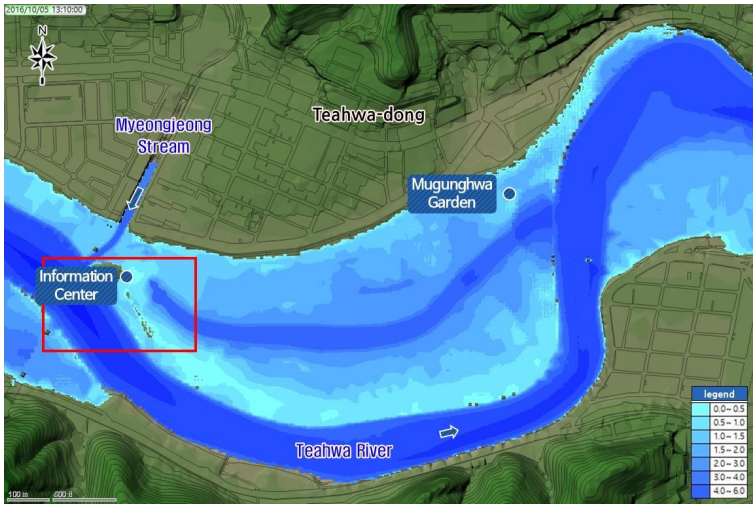


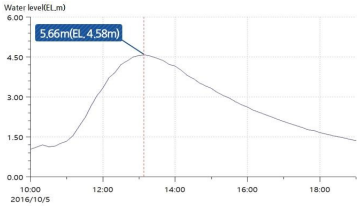


(a) Stage Curve

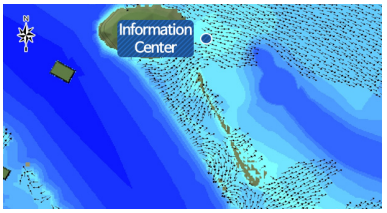
(b) Zoom to Osan Square

Fig. 7. Based on the Taehwa Bridge Stage Station : 4.50 m (EL. 3.42 m) (2016)



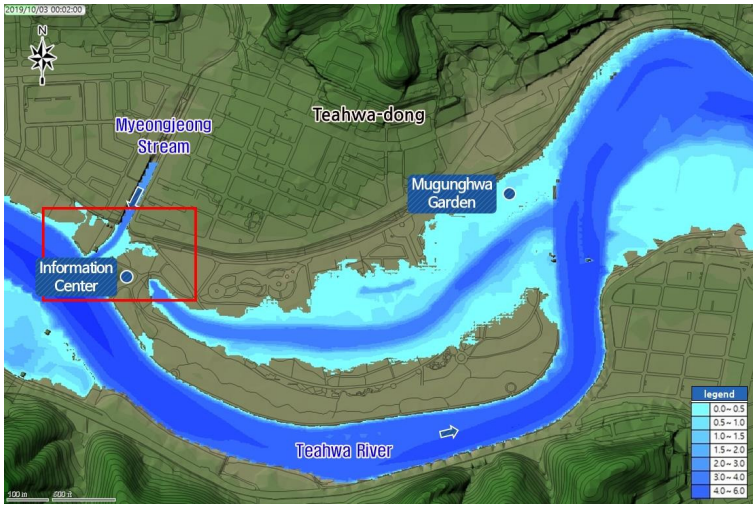


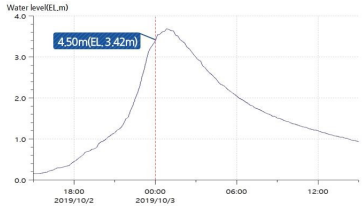
(a) Stage Curve



(b) Zoom to Osan Square

Fig. 8. Based on the Taehwa Bridge Stage Station : 5.66 m (EL. 4.58 m) (2016)

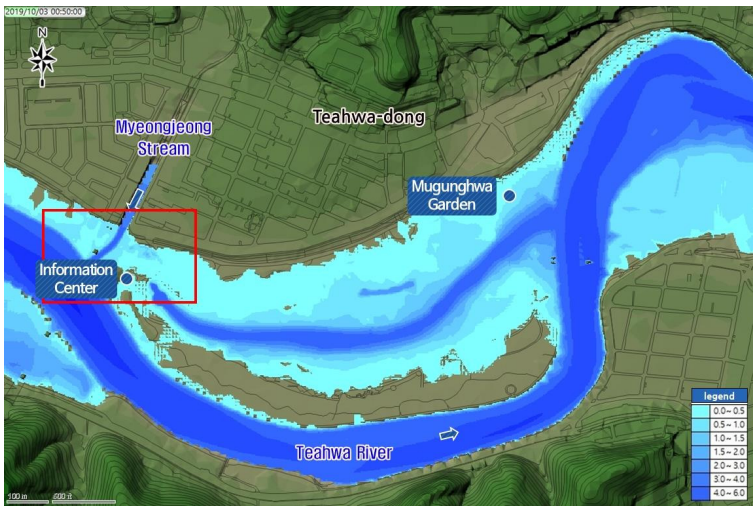


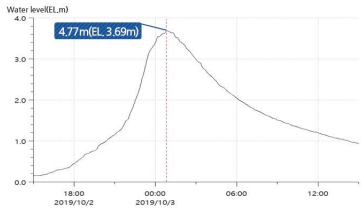


(a) Stage Curve

(b) Zoom to Osan Square

Fig. 9. Based on the Taehwa Bridge Stage Station : 4.50 m (EL. 3.42 m) (2019)

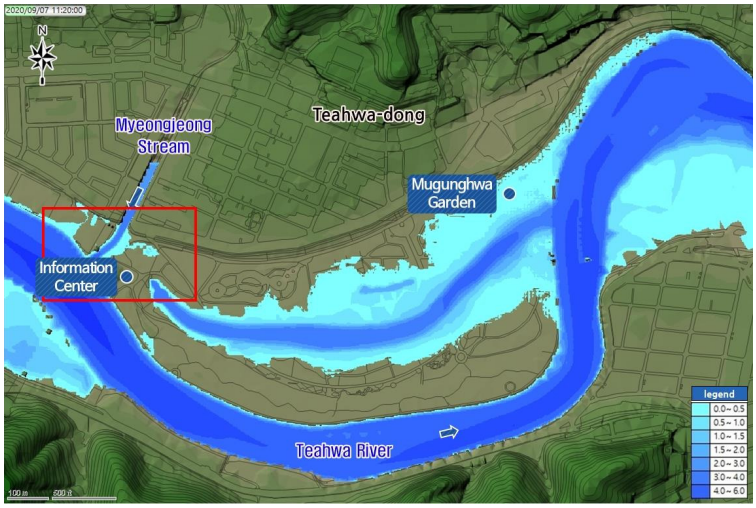


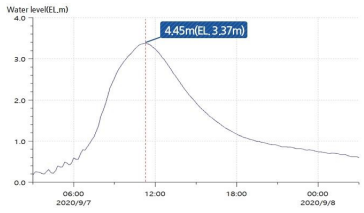


(a) Stage Curve

(b) Zoom to Osan Square

Fig. 10. Based on the Taehwa Bridge Stage Station : 4.77 m (EL. 3.69 m) (2019)





(a) Stage Curve

(b) Zoom to Osan Square

Fig. 11. Based on the Taehwa Bridge Stage Station : 4.45 m (EL. 3.37 m) (2020)

또한 동일한 수위라 하더라도 수위 상승시의 상승곡선의 기울기가 완만할수록 범람면적이 감소하는 것을 확인하였고, 기울기가 급할수록 범람면적이 증가하는 경향을 확인하였다.

4. 결 론

최근 도시의 과밀화로 인해 도시하천의 둔치 활용에 대한 요구는 지속적으로 증가하고 있다. 그러나 둔치에 기반시설을 설치할 경우 출입통제가 어렵고 유수에 의한 유실, 침식 및 침수 등에 취약하므로 피해저감을 위한 대책 마련이 필요하다. 국내외의 선행연구는 하천의 예·경보 기준 제시, 홍수위험구역 설정, 하천 내 시설물 설치시 홍수위의 변동 또는 장기적인 홍수예측모형 구축의 선행연구 등이 진행되었을 뿐 다양한 홍수사상에서 실측 흔적수위 조사를 통한 둔치의 침수 시작, 확산 및 종료까지의 양상은 연구되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 태화강 국가정원을 대상으로 과거피해조사, 침수흔적조사, 현장답사를 통해 과거 홍수사상 조건에서 침수의 양상을 2차원 수치모델링을 통해 검토하고자 하였다. 모형은 입력 자료가 간단하고, 정방형 모형에 비해 정밀한 해석이 가능한 InfoWorks ICM를 사용하였으며, 태풍 '차바', '미탁', '하이선'을 과거 홍수사상으로 채택하여 10분 간격으로 모의하였다. 태화강 국가정원 침수모델링 결과 침수는 크게 3단계에 걸쳐 진행되는 것을 확인하였다. 침수가 시작되어 확장되는 지점(실개천 주변 저지대)과 수위상승이 지속될 경우 침수시작지점과 다른 지점(명정천 합류부, 강변 산책로)에서의 추가적인 침수가 발생하는 것을 확인하였다. 또한 동일한 수위라 하더라도 수위곡선의 상승

기울기가 가파를수록 침수범위가 증가하는 것을 확인하였다 (Figs. 7, 9). 이는 태화교 수위관측소 기준 주의수위(4.50 m)에서 둔치 침수를 최소화할 수 있는 저감대책 및 유지관리비용 절감 방안 마련 등에 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 둔치 내 설치되거나 설치 예정인 각종 기반시설물의 계획 및 유지관리와 예·경보 매뉴얼 구축 등 도시 재난 복원력 강화에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 대표적 친수공간인 둔치의 물적, 인적피해 저감을 위해 침수양상분석의 필요성을 제안하였으며, 둔치에 위치한 태화강 국가정원의 수치모델링을 통해 둔치 침수의 양상을 확인하였다. 그러나 수치모델링의 한계성이 있으므로 침수자료의 축적, 수리모형실험 등 다양한 조사와 분석 및 실험을 접목한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

References

Azad, W.H., Sidek, L.M., Basri, H., Fai, C.M., Saidin, S., and Hassan, A.J. (2017). 2 dimensional hydrodynamic flood routing analysis on flood forecasting modelling for kelantan river basin. *MATEC Web of Conferences*, Vol. 87, 01016.

Busan Construction and Management Administration. (2008). *Integrated flood management in taehwa river basin.*

Busan Construction and Management Administration. (2013). *Taehwa river basic plan.*

Cheng, T., Xu, Z., Hong, S., and Song, S. (2017). Flood risk zoning by using 2D hydrodynamic modeling: A case study in jinan city. *Hindawi Mathematical Problems in Engineering,* Vol. 2017, 5659197.

Choi, Y.J., Song, Y.H., Lee, J.H., Park, M.J., and Kim, E.S. (2014). Estimation of flood forecasting and warning rainfall thresholds in backwater lengths of a urban river. *Journal of Korean Society of Harzard Mitigation,* Vol. 14, No. 6, pp. 379-385.

Innovyze. (2022). *2D hydraulic theory.* Retrieved July 5, 2022, from https://www.innovyze.com/en-us/blog/2d-hydraulic-theory

Jung-gu, Ulsan Metropolitan City. (2015). *Comprehensive plan for small river maintenance.*

Kim, J.S., Kim, W., and Choi, K.H. (2017). Development of 1D FLDWAV model for predicting flood inundation in the riparian zone of youngsan river. *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference, 2017.05a,* pp. 284-284.

Ku, Y.H., Song, C.G., Park, Y.S., and Kim, Y.D. (2015). A study on the field application of Nays2D model for evaluation of riverfront facility flood risk. *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research*, Vol. 35, No. 3, pp. 579-588.

Kyungsangilbo. (2019). *Typhoon 'Mitak' water bombs in ulsan [Image].* Retrieved July 10, 2022, from http://www.ksilbo.co.kr/news/articleView.html?idxno=727890

Lee, J.H., Lee, E.K., Park, J.R., and Shin, H.S. (2018). Analysis of the characteristics of flood damage caused by typhoon "SANBA" using index assessment method in nakdong-river. *Journal of Korean Society of Harzard Mitigation,* Vol. 16, No. 2, pp. 387-397.

Ministry of Environment. (2019). *Estimation of nationwide river basin flood discharge.*

Moon, H.T., Lee, J.H., Yoon, J.S., and Moon, Y.I. (2021). Development of a method for integrated standards for prediction and warning of floodplain flood level by urban river section. *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference, 2021.06a,* pp. 297-297.

Song, Y.H., and Lee, J.H. (2016). Analysis of flood prediction and warning alert standard for urban mid and small stream. *Proceedings of the Korea Contents Association Conference, 2016.05a,* pp. 463-464.

Yonhap News Agency. (2016). *The muddy taehwa river and the clear sky [Image].* Retrieved July 10, 2022, from https://www.yna.co.kr/view/PYH20161005224100057?section=search

Yonhap News Agency. (2020). *The swollen river flooded the taehwagang national garden [Image].* Retrieved July 10, 2022, from https://www.yna.co.kr/view/PYH20200907112900057?section=search

Received	August 23, 2022
Revised	August 25, 2022
Accepted	September 6, 2022