



Development of distributed inundation routing method using SIMOD method

Lee, Suk Ho^a · Lee, Dong Seop^a · Kim, Jin Man^b · Kim, Byung Sik^{a*}

^aDepartment of Urban and Environmental Disaster Prevention Engineering, Kangwon National University, Gangwon-do, Korea

^bGeotechnical Engineering Research Institute, Korea Institute of Construction Technology, Ilsan, Korea

Paper number: 16-024

Received: 4 March 2016; Revised: 29 April 2016 / 2 May 2016; Accepted: 2 May 2016

Abstract

Changes in precipitation due to climate change is made to induce the local and intensive rainfall, it is increasing damage caused by inland inundation. Therefore, it requires a technique for predicting damage caused by flooding. In this study, in order to determine whether this flood inundated by any route when the levee was destroyed, Which can simulate the path of the flood inundation model was developed for the SIMOD (Simplified Inundation MODel). Multi Direction Method (MDM) for differential distributing the adjacent cells by using the slope and Flat-Water Assumption (FWA)-If more than one level higher in the cell adjacent to the cell level is the lowest altitude that increases the water level is equal to the adjacent cells- were applied For the evaluation of the model by setting the flooding scenarios were estimated hourly range from the target area. SIMOD model can significantly reduce simulation time because they use a simple input data of topography (DEM) and inflow flood. Since it is possible to predict results within minutes, if you can only identify inflow flood through the runoff model or levee collapse model. Therefore, it could be used to establish an evacuation plan due to flooding, such as EAP (Emergency Action Plan).

Keywords: Simplified Inundation Mode (SIMOD), Multi Direction Method (MDM), Flat-Water Assumption (FWA), Emergency Action Plan (EAP)

SIMOD 기법을 이용한 분포형 침수 추적 기법 개발

이석호^a · 이동섭^a · 김진만^b · 김병식^{a*}

^a국립강원대학교 방재전문대학원 도시·환경방재공학전공, ^b한국건설기술연구원 지반연구소

요 지

기후변화로 인한 강수량의 변화는 국지적이고 집중적인 강우를 유발하게 되었고 이로 인하여 외수범람에 의한 제내지 침수로 인한 피해가 증가하고 있다. 따라서 제내지의 침수로 인한 피해를 예측하기 위한 기술이 필요하다. 본 논문에서는 하천제방의 파쇄로 인한 홍수량이 제내지에서 어떤 경로로 침수-확산되는지를 파악하기 위하여 홍수의 침수경로를 모의할 수 있는 분포형홍수범람모형인 SIMOD(Simplified Inundation MODel)를 개발하였다. 침수경로를 모의하기 위하여 홍수가 발생된 시점에서 그리드화 된 주변 격자로의 홍수전의를 위하여 주변 격자와의 경사를 이용하여 차등 분배하는 다중흐름방향법(Multi Direction Method, MDM)과, 하나의 낮은 고도의 격자에서 수위가 높아져 인접한 격자보다 수위가 증가하면 그 수위는 인접 격자들과 균등해 진다는 가정인 평수가정법(Flat-Water Assumption, FWA)을 적용하였다. 모형의 평가를 위하여 가상시나리오를 설정하여 대상지역에서 시간에 따른 침수범위를 산정하였다. SIMOD는 지형도와 유입홍수량의 간단한 입력자료를 이용하기 때문에 모의시간을 현저하게 단축시킬 수 있으며 강우-유출 모형 또는 제방붕괴 모형 등을 통해서 유입되는 홍수량만 파악을 할 수 있다면 수 분 내에 결과를 예측할 수 있다. 따라서 EAP(Emergency Action Plan)과 같은 침수로 인한 대피계획을 수립하는데 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어: SIMOD, 다중흐름방향법, 평수가정법, EAP

*Corresponding Author. Tel: +82-33-570-6819
E-mail: hydrokbs@kangwon.ac.kr (B. S. Kim)

1. 서론

2015년 겨울 슈퍼 엘니뇨라 불리는 위력적인 극한 기상 현상으로 인하여 미국과 중남미 지역에서 기록적인 폭우로 인한 피해가 속출하고 있다. 미국 중서부 지역은 역대급 홍수로 인하여 미주리강과 미시시피강의 범람으로 도심지가 물에 잠겼고 중남미 파라과이는 엘리노 물폭탄이라 불릴 정도로 최악의 홍수사태를 맞고 있다. 이와 반대로 우리나라의 경우 2014~2015년에 연이어 가뭄의 기승을 부리고 있다. 이와 반대로 서태평양 지역에 강우가 증가되는 것을 라니냐 현상이라 하며 우리나라 강우량 증가에 직접적인 영향을 준다.

이렇듯 최근 기후변화로 인한 가뭄과 홍수로 전 지구적인 물 재난이 증가하고 있으며 현재 가뭄으로 몸살을 앓고 있는 우리나라 또한 몇 년 안에 홍수로 큰 피해를 입을 수 있다. 최근 연구를 보면 기후변화로 인해 미래로 갈수록 극한강수와 가뭄의 심도가 증가하고, 발생빈도 또한 증가할 것으로 전망되었다(Kim et al., 2013). 또한 현재의 배수관련 사회가반시설의 설계는 정상성(stationarity)이라는 가정 하에 빈도해석을 하고 있기 때문에 극한기후를 반영하기 어렵다고 보고 극한기후 특성을 비정상성(nonstationarity)을 고려한 빈도해석을 이용한 설계홍수량 산정을 실시하였다(Jeong et al., 2015).

우리나라 주요하천의 제방설계기준은 주로 100년 이하의 빈도로 설계되어 있다. 하지만 극한기후 특성을 적용하면 그 빈도는 더 낮아질 것으로 판단되며, 극한강수 또한 증가되고 있기 때문에 제방의 월류 파쇄 등으로 인한 제내지(도심지)의 홍수범람 피해 가능성은 더욱더 커지고 있다.

특히 집중호우시 도달시간이 짧은 도시하천에서는 홍수위가 급격히 증가하여 도로, 교량 등의 하천 시설물과 제내지 건물 등의 피해 위험이 매우 높다(Lee et al., 2006a). 이에 대한 대비책으로 도시하천에서의 비상대처계획(EAP) 수립을 통해 극한강수로 인한 홍수범람에 대처하도록 하고 있다. 따라서 홍수범람을 예측하고 적절한 대책을 세우기 위해서는 신뢰도 높은 모형이 필요하다. 현재 침수를 모의할 수 있는 다차원 침수 모형은 SWMM (Storm Water Management Model), FLO-2D (Two Dimensional Flood Routing Model), MIKE FLOOD 등이 있다. SWMM의 경우 관망 구축 등 기본자료를 구축하는데 시간이 오래 걸리며 MIKE FLOOD 또한 하천망 (river network) 구성 및 경계조건 등 기본자료 구축이 오래 걸린다. FLO-2D의 경우 모의시간이 수십 시간 이상 소요되기 때문에 복합 다차원 홍수범람 모형을 사용하여 단기간에 고성능의 실시간 예보 시스템을 개발하기 위해서는 고도의 하드웨어 자원(hardware resource) 및 기술적 스킬이 필요하다

(Yang et al., 2015). 따라서 복잡한 모형을 단순화 시켜 시간 및 비용을 최소화 시키는 방법이 필요하다.

본 연구에서는 지형자료인 DEM (Digital Elevation Model) 또는 DSM (Digital Surface Model)과 유입홍수량 등의 간단한 수문자료만을 이용하여 홍수범람으로 인한 제내지(도심지)의 침수·확산 경로를 모의할 수 있는 분포형홍수범람모형인 SIMOD를 개발하였다. 본 모형은 시간에 따른 홍수의 이동 경로를 표현할 수 있도록 개발하였으며 10분 내외의 비교적 짧은 모의 시간에 결과를 낼 수 있다는 장점을 가지고 있다. 개발된 모형을 가지고 도시시설이 밀집되어 있는 대구광역시 금호강 유역의 제방(성서제)의 붕괴 또는 월류로 인한 도심지의 시간에 따른 침수·확산 경로를 모의하였다. 또한 시간에 따른 유입홍수총량을 지형의 최저고도부터 순차적으로 적산하여 분포시킨 결과와 비교 분석을 통하여 침수·확산 경로 추정 이 가능한 모형의 적합성을 검증하였다.

2. 연구동향

국외의 연구동향을 살펴보면 과거에 다양한 메커니즘으로 침수를 해석하는 방법에서 최근 침수모형을 단순화시켜 쉽고 빠르게 적용할 수 있도록 하는 연구가 많이 진행되고 있다. Syme 등(2004)은 도시지역에서 범람원에 대한 유출 모델링을 하기 위하여 토지이용, 건물, 좁은 흐름 경로 및 지하 빗물 배수 변화 등을 고려하여 홍수범람을 모의하였다. Nanshan 등(2007)은 지형자료와 수치표고모델, 모형의 유입 및 유출 경계 조건을 제공하기 위한 유량자료, 피해범위 추정을 위한 마찰 매개변수를 이용하여 홍수의 위험을 예측하고 평가하기 위한 통합 홍수 범람 시뮬레이션 모델을 개발하고자 하였다. Pathirana 등(2011)은 2-D 도시 침수 모형을 개발하여 1-D 배수 네트워크 모형인 EPA-SWMM5와 연계하였으며 확산과 동적 모델을 이용하여 모형의 프로세스를 단순화시켜 도시 침수를 모의하였다. Yang 등(2015)은 제내지에서 홍수 경로 추적을 위해 DEM을 사용한 단순화시킨 모형(simplified model)을 가지고 실시간 범람예보시스템을 개발하는 연구를 진행하였다. L. Liu 등(2015)은 극한강우사상으로 강우-유출 및 홍수-침수 과정을 시뮬레이션 할 수 있는 효율적인 셀룰러 오토마타(Cellular Automata) 모델을 개발하여 적용하였다. 이 모형은 침투, 유출, 동적 유체 거동을 모의할 수 있다.

우리나라의 관련 연구는 주로 비상대처계획(EAP), 또는 홍수범람지도 등의 목적으로 제내지 침수 해석을 하고 있다. 전민우 등(2005)은 제방의 월류 및 붕괴에 따른 홍수파가 제내

지로 전파되는 경우의 물리적인 특성을 고려하여 하천에 대한 홍수 해석은 Preissmann 기법을 적용하였으며, 제내지에서의 범람해석을 위한 2차원 모형을 적용하여 해석할 수 있도록 구성하였고, 이들 두 모형이 상호 작용할 수 있는 하도-제내지 연결부 수치해석 모형을 개발하였다. 또한 잠수효과와 해석을 위한 관련 방정식을 도입하여 제내지에서의 수위 상승에 따른 하천으로부터의 월류량을 정확하게 계산할 수 있도록 연구하였다. 이종형 등(2008)은 XP-SWMM을 이용하여 침수심, 침수면적을 시간대별로 분석하여 침수해석을 수행하였다. 이종태 등(2006b)은 도시하천유역에서 집중호우에 따른 제방 범람과 이에 따른 침수 피해규모를 해석하기 위하여 우리나라의 대표적 도시하천인 중랑천의 홍수 및 제방붕괴 특성을 시 공간적으로 다양한 조건에서 연구하였다. 제방붕괴 조건별 하천의 부정류 해석 및 제내지의 홍수범람 해석을 실시하였다. 또한 상류 사류 또는 시간적 공간적으로 두 가지 흐름 상태가 결합된 혼합류에 대한 계산이 가능한 FLDWAV (FLooD WAVe)모형을 사용하여 연구하였다. 박재홍 등(2009)은 하천의 제방붕괴시 제방의 침식 및 세굴이론에 기초한 범람 홍수량 해석, 시간에 따른 제방붕괴폭의 변화, 침수범위 및 침수위의 추정, 침수 예상 피해규모를 예측할 수 있도록 하천의 유량변화를 고려한 제방붕괴를 연구하였다. 개발 모형을 통해 제방붕괴가 발생한 도시하천의 하천수위 해석, 파제유량 계산, 홍수지도 작성 및 침수위 해석 등을 연구하였다. 김병현 등(2011)은 댐 붕괴에 대한 1차원 하천수리해석 모형 (DAMBRK, DAM BReaK Food Forecasting Model)과 GIS (Geographic Information System)를 연계한 홍수범람지도 작성 방법을 위해 여러 가지의 댐 붕괴 시나리오에 따라 붕괴 유출량을 산정하고, 이 중 가장 극한조건에 대한 하루부 홍수 추적을 통해 하루부 주요지점별 침두유량, 최고홍수위, 홍수 파 도달시간, 최고홍수위 도달시간을 산정하고 최고홍수위와 좌우 제방고도 비교한 후 하천수리해석 결과를 GIS를 연계

하여 수심별 홍수범람지도를 작성하는 방법에 관해 상세히 보여줌으로서 수범람지도 작성방법은 홍수터 해석에 대해 1차원 하천수리해석 모형이 가지는 한계점을 보완하는 것을 연구했다. 김대희 등(2014)은 가능 최대 강수량 발생시 댐의 가상 댐 붕괴를 모의하여 붕괴지속시간에 대한 침두 홍수량을 산정하고 MIKE FLOOD 모형을 이용하여 붕괴지속시간별 범람시간 범람 양상 및 침수 면적을 모의하였다.

3. 이론적 배경

SIMOD의 자료 처리 및 모형의 흐름도는 Fig. 1과 같다. 시나리오를 기반으로 발생된 홍수에 의한 하천범람유량은 시간에 따라 임의의 격자(cell)에서 발생시킬 수 있다. 발생된 흐름은 Fig. 2와 같이 하향 기울기를 가지는 흐름방향 경사일 때와 상향 기울기를 가지는 역방향 경사일 때의 흐름 경로가 달라지게 된다. 하향기울기의 흐름을 가질 때는 다중흐름방향법(MDM)을, 상향기울기의 흐름을 가질 때는 평수가정법(FWA)을 이용하는 것으로 MDM은 침수가 시작되는 격자를 기준으로 인접한 8개의 격자 중에서 표고가 낮은 격자에 할당하는 방법이며, FWA는 침수가 시작되는 셀 주변 8개의 셀이 모두 시작 셀보다 표고가 높을 때 인접한 셀로 할당하는 방법이다. 따라서 침수가 시작되는 격자에서부터 특정 시간의 홍수량은 다음에서 설명하는 MDM과 FWA의 두 가지 알고리즘에 의하여 인접한 격자로 전이 된다.

3.1 다중흐름방향법(Multi Direction Method, MDM)

홍수시나리오를 통해 발생된 홍수에 의한 하천범람유량이 시작하는 격자를 결정하면, 이 시작 격자로부터 홍수가 시작된다. 홍수가 시작되면 발생된 홍수총량은 인접한 격자로 할당되어 이동하게 되는데 기존의 할당 방법은 단일흐름방향법

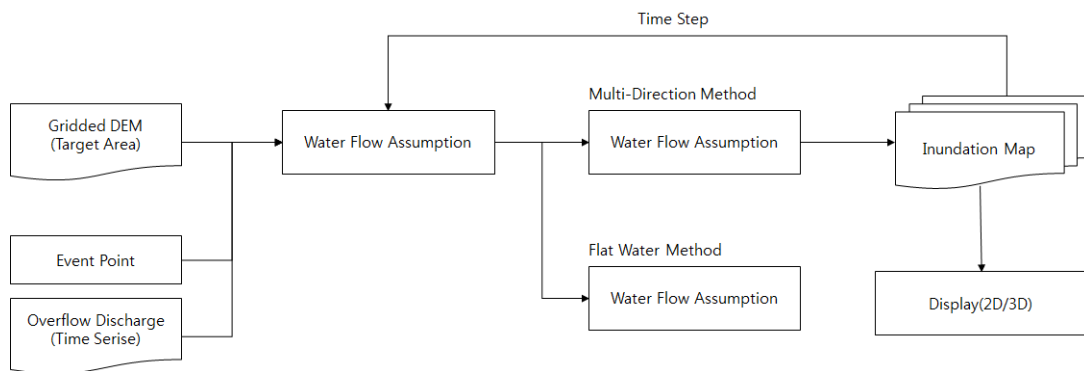


Fig. 1. Flowchart of SIMOD

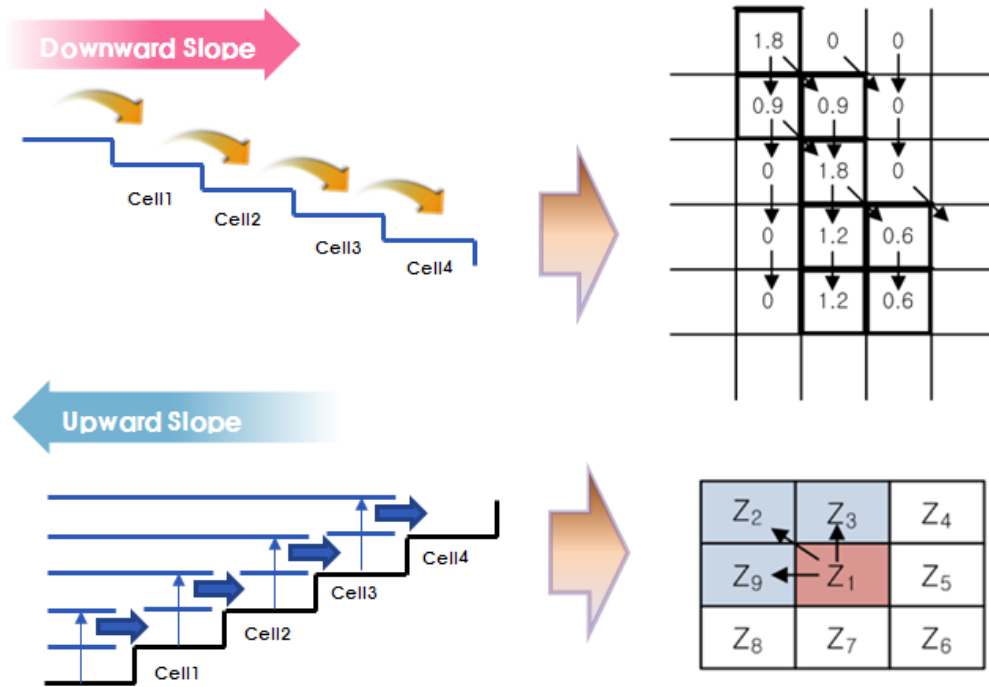


Fig. 2. Pathway Simulation Method

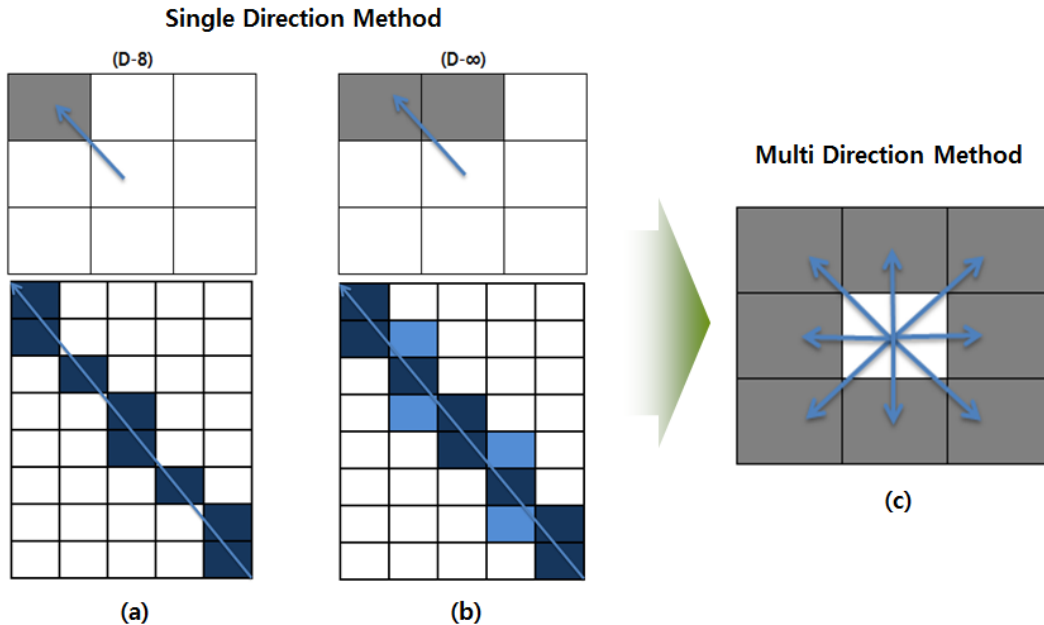


Fig. 3. Flow Distribution Method

(Single Direction Method, 이하 SDM)을 주로 이용하였다. SDM은 Fig. 3 (a), (b)와 같이 D-8 방법과 D-∞ 방법으로 인접한 격자에 할당하게 된다. D-8 방법은 홍수가 시작하는 격자와 인접하는 8개의 격자 중에서 경사가 가장 낮은 1개의 격자에 홍수총량을 할당하는 방법이다. D-∞ 방법은 Tarboton

(1997)이 제안한 방법으로 시작 격자에 인접한 모든 8개 격자에서부터 가장 가파른 하향 기울기(downward slope)를 유수 방향 각(flow direction angle)으로 결정하면 흐름방향에 인접한 하나 또는 두 개의 격자가 생기게 된다(Fig. 3b). 따라서 인접한 격자중에서 흐름방향에 인접한 한 개 또는 두 개의 격자

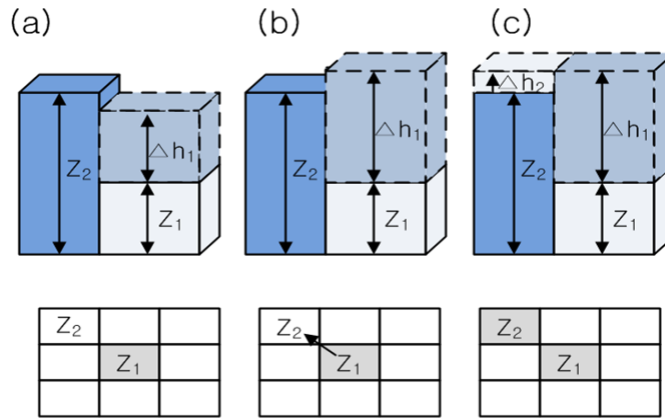


Fig. 4. Water spreading using the flat-water assumption (Yang et al. 2015)

에 홍수량을 할당하는 방법이다. 이 두 가지 방법은 결국 하나의 흐름방향으로 홍수가 흘러가게 되어 있다. 그러나 실제의 홍수범람에 의한 흐름방향은 경사에 따라 여러 방향으로 나타날 수 있다. 따라서 시작 격자보다 낮은 고도의 격자로 할당하는 방법이 필요하다. MDM은 시작 격자보다 낮은 인접 격자에 홍수총량을 할당하는 방법으로 각 인접 격자의 고도차를 가중치로 할당하는 방법이다. 즉 가장 낮은 고도차를 1이라고 보고 그보다 작은 고도차를 최저 고도차의 비율에 따라 차등분배하는 방법으로 인접 격자에 홍수총량을 할당한다. 이렇게 분배된 홍수량은 최저표고에 도달하여 인접 격자의 표고가 시작 격자보다 높을 때 까지 계속된다.

3.2 평수가정법(Flat-Water Assumption, FWA)

평수가정법은 하향경사방향으로 흐름이 이어지다 최저표고 격자에 이르게 되면 유입되는 홍수량이 인접한 격자의 표고값과 동일해 질 때까지 누적된다는 것으로 Yang 등(2015)이 제안하였다. 홍수 흐름이 최저표고에 이르면 이 격자는 침수 시작 격자로 되고 홍수총량은 이 시작 격자에 누적된다. Fig. 4(a)에서 Z1 격자의 수위(water level)는 물 확산 조건 $[Z1 + \Delta h1 > Z2]$ 이 충족될 때까지 증가한다(Fig. 4(b)). 홍수총량이 더해지면 Z2는 평수가정 $[Z1 + \Delta h1 = Z2 + \Delta h2]$ (Fig. 2(c))를 만족시켜야 하고 이와 같은 알고리즘으로 격자의 유량이 주변으로 확산된다.

4. 대상 지역 선정 및 모형 적용

4.1 대상지역의 선정

SIMOD를 적용하기 위한 대상지역은 하천이 인접해 있고

제내지가 건물, 도로 등의 시설에 의한 영향을 분석할 수 있는 지역이어야 하며 홍수범람 시나리오 적용을 위해 충분한 높이의 제방이 확보되어야 한다. 따라서 본 연구대상구역은 금호강 하류에 위치한 제방(성서제)을 대상지역으로 선정하였다.

금호강 유역은 대구광역시, 경상북도의 경산시, 영천시, 포항시, 칠곡군 등 총 1개 광역시, 1개도, 3개시, 2개군, 7개구, 4개읍, 20개면의 전체 또는 일부를 포함하는 유역으로 유역면적 2,092.42 km², 유로연장 116.0 km²에 이르고 있다. 금호강 유역에는 자호천, 고촌천, 신령천, 신천 등 총 52개의 지방하천이 있으며, 금호강을 포함하여 총 하천연장은 590.76 km²에 달한다(국토교통부, 1997).

4.2 입력자료 구축

SIMOD의 입력자료는 유입홍수량과 지형자료의 두 가지 입력자료로 모의가 가능하다. 유입홍수량은 Fig. 5의 우측 그림과 같이 성서제 제방붕괴로 인해 홍수가 월류하여 제내지의 저류지로 유입하여 유입수가 저류지를 넘어 제내지(산업단지)로 유입하는 가상 시나리오를 설정하였다. 유입홍수량 산정 흐름도는 Fig. 6과 같다.

하천의 홍수위는 “재난시나리오 기반 수변구조물 통합안전관리 기술 개발 연구단의” 호우/태풍 시나리오를 기반으로 산정된 자료를 이용하였다. 제방붕괴시나리오는 Fig. 5의 제방붕괴지점 제방고상단 기준 높이 7m, 폭 35m의 제방이 유실된 것으로 가정하였다. 붕괴된 제방을 통해 하천의 홍수위가 월류되면 유입홍수량은 축류웨어로 가정하여 Eq. (1)을 이용하여 산정할 수 있다.

$$Q = 1.84 \left(b - \frac{n}{10} t \right) t^{\frac{3}{2}} \tag{1}$$

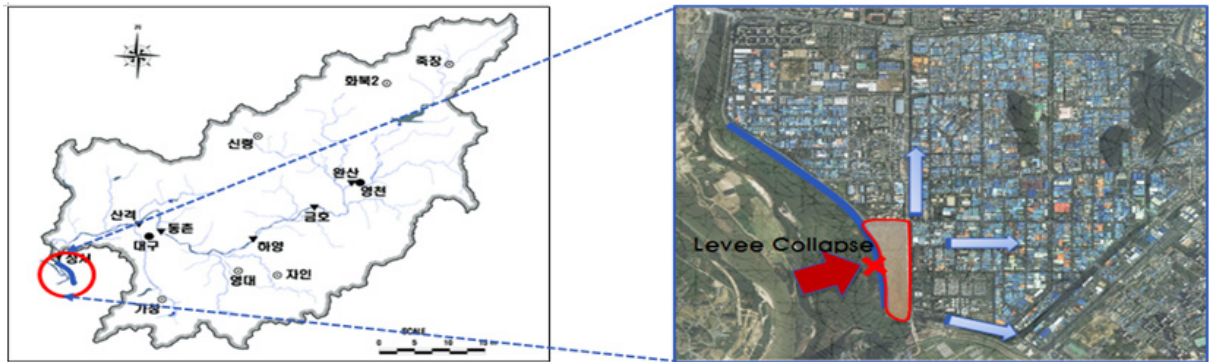


Fig. 5. Location of Study Area and Levee Collapse

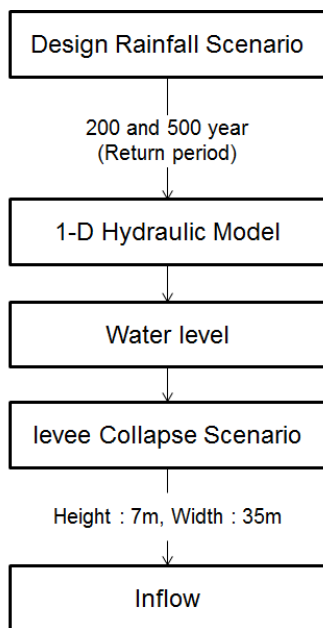


Fig. 6. Flowchart for Inflow calculation

이때 하천에서의 접근속도는 무시하였으며 홍수유입으로 인한 하천수위변화는 없는 것으로 가정하였다. 제방고 상단의 표고는 27.63 m (El.)이며 높이 7m의 제방붕괴 시나리오를 고려하면 제방 하단은 20.63 m (El.)로 모의시간인 100시간

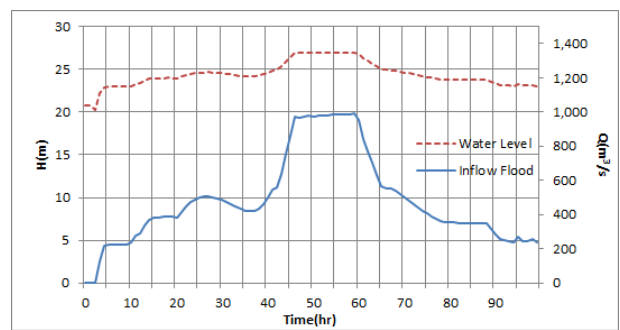


Fig. 7. Water Level and Inflow Flood

전체에 걸쳐 홍수가 제내지로 유입되고 있다. 가상시나리오에 의한 하천홍수위와 제내지 유입홍수량은 Fig. 7과 같으며 시간에 따른 유출 총량은 Table 1과 같다.

지형자료는 기본적으로 DEM을 이용하나 SIMOD 모형의 주목적은 도로나 건물과 같은 시설물에 의한 침수-확산 경로를 모의하는 것이기 때문에 시설물의 표고값이 적용되는 DSM을 이용하였다. 성서제 주변의 DSM 구축결과는 Fig. 8과 같다.

4.3 모형의 적용

SIMOD의 입력화면은 Fig. 9과 같으며, 구성은 다음과 같다.

Table 1. Cumulative Total Outflow

Time (hr)	Total Outflow (m ³)	Time (hr)	Total Outflow (m ³)	Time (hr)	Total Outflow (m ³)	Time (hr)	Total Outflow (m ³)
5	2,055,750	30	36,406,264	55	99,849,314	80	154,357,400
10	6,133,322	35	44,462,268	60	117,492,331	85	160,698,147
15	12,077,848	40	52,536,904	65	130,134,271	90	166,652,328
20	19,036,509	45	64,653,536	70	139,754,559	95	171,194,834
25	27,411,181	50	82,179,722	75	147,738,737	100	175,585,297

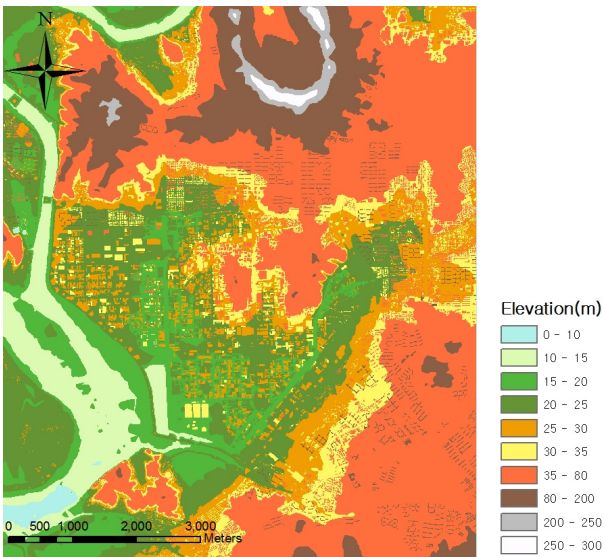


Fig. 8. Terrain Data (Digital Surface Model, DSM)

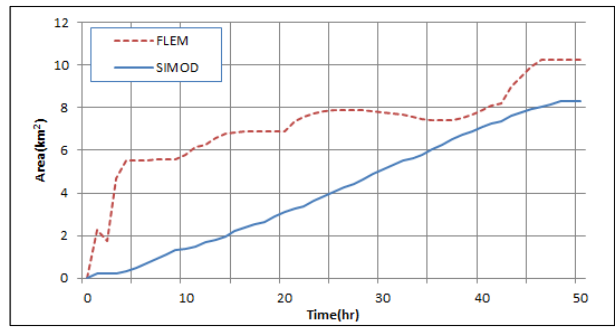


Fig. 10. Comparison of Flooded Area

- 7번(결과) : 시간대별로 침수-확산범위가 출력되게 된다.

또한 출력된 자료는 시간대별로 아스키 파일로 저장되어 GIS 툴을 이용하여 확인할 수 있다.

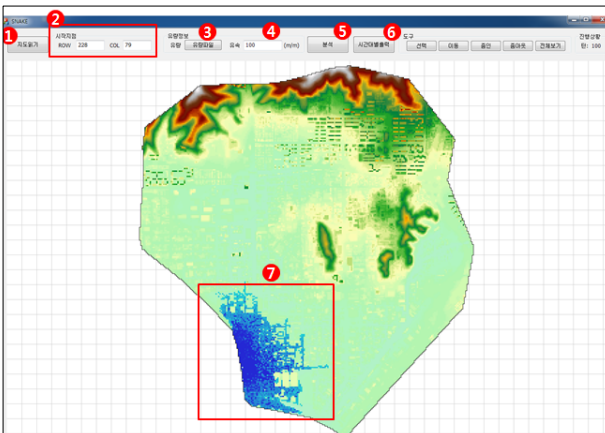


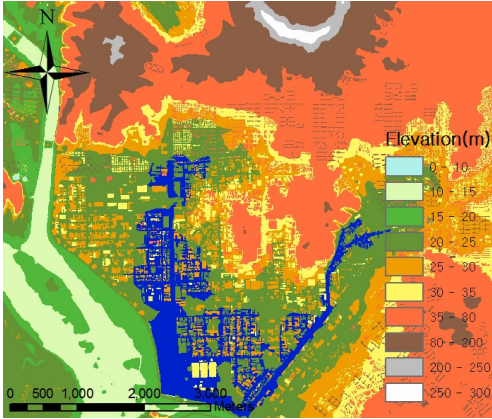
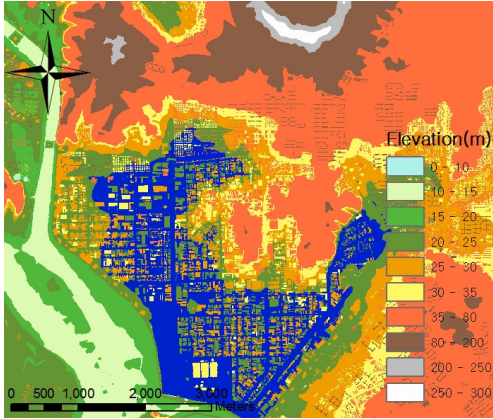
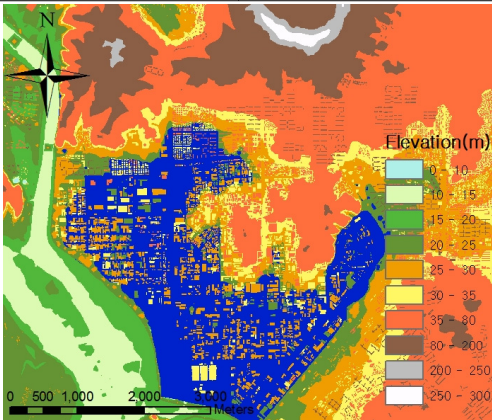
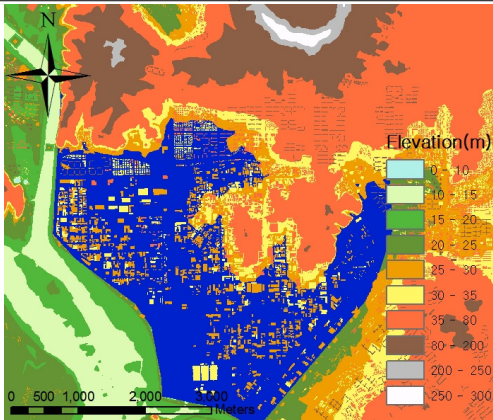
Fig. 9. Main Screen of SIMOD

- 1번(지도읽기) : 아스키(American Standard Code for Information Interchange)파일 형태의 DEM 또는 DSM 파일을 불러올 수 있다.
- 2번(좌표입력) : 홍수 유입이 시작되는 격자로 화면의 좌표값을 입력하거나 마우스를 이용해 원하는 시작 격자를 정할 수 있다.
- 3번(유량파일) : 시간별 누가유출총량을 엑셀이나 텍스트 형태로 불러올 수 있다.
- 4번(유속값) : 분당 이동거리를 입력하게 되어 있으며 제방붕괴지점에서의 시간당 평균유속을 사용한다.
- 5번(분석) : 자료입력 후 분석을 누르면 모형이 구동된다.
- 6번(출력) : 모형의 결과는 6번 시간대별출력 버튼을 누르면 된다.

적용된 모형의 적합성을 분석하기 위하여 월류수위를 연장하는 방법인 FLEM (Flood Level Extension Method)과 SIMOD 결과를 비교 분석하였다. FLEM은 월류수위연장법으로 유입되는 월류수위를 표고값으로 하여 월류수위보다 낮은 표고값을 가지는 지역을 침수범위로 산정하는 방법으로 주로 홍수위험지도를 작성할 때 사용하는 방법이다. 이 두 가지 방법의 결과는 Fig. 10과 같다.

모형의 비교를 위해서 모의시간은 최고월류수위를 나타내는 48시간까지의 침수확산 면적을 비교하였다. 방법1인 월류수위를 연장하는 FLEM 방법은 월류가 시작되는 시간부터 바로 피해면적이 크게 증가하고 40시간 이후에 SIMOD 결과와 어느정도 근접하고 있다. 따라서 FLEM 방법으로는 전체적인 피해면적을 판단할 수는 있지만 월류 시작후 수시간 동안의 시·공간적 침수확산 범위는 모의할 수 없다. 그러나 SIMOD를 이용한 방법은 시간에 따른 침수면적이 비교적 연속적으로 증가하고 있다. 그리고 SIMOD의 가장 큰 장점은 시·공간적 변화 즉, DSM을 이용한 지형자료로 인하여 시간에 따라, 그리고 침수범위내의 시설물 위치에 따라, 그 흐름 경로(pathway)의 변화를 모의할 수 있다는 것이다. 기본적으로 1분 단위로 모의된 결과를 출력할 수 있으며 출력 시간간격은 필요에 따라 수 초 단위로 줄일 수 있다. Table 2~3은 위의 2가지 방법별 시간에 따른 침수면적 변화를 나타낸 그림이다. 두 가지 방법 모두 시간에 따른 침수면적 변화를 나타낼 수 있지만, FLEM 방법은 초기 피해면적이 과대 산정된다는 단점이 있으나 본 연구에서 개발된 SIMOD의 결과는 시간에 따른 침수경로와 침수면적 결과를 연속성 있게 나타내고 있다.

Table 2. Variation of Flooded Area in Method (FLEM)

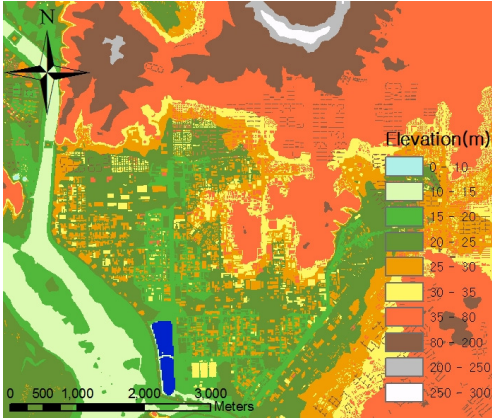
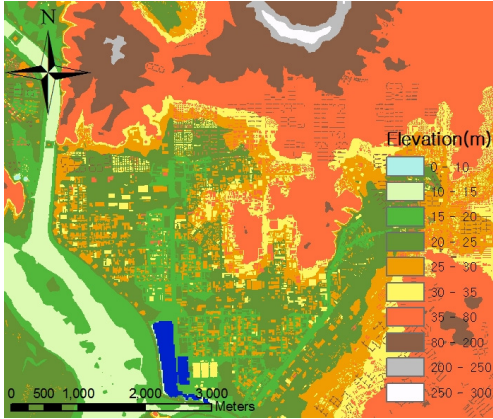
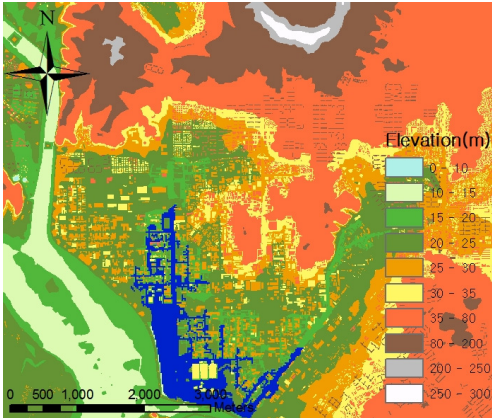
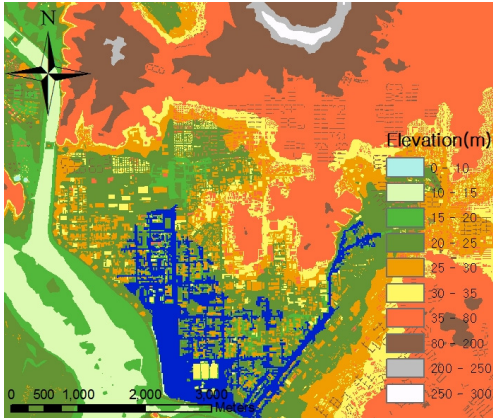
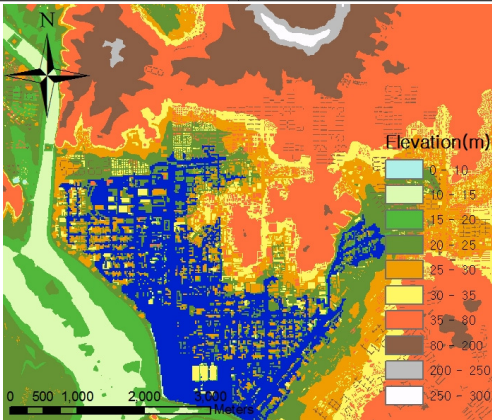
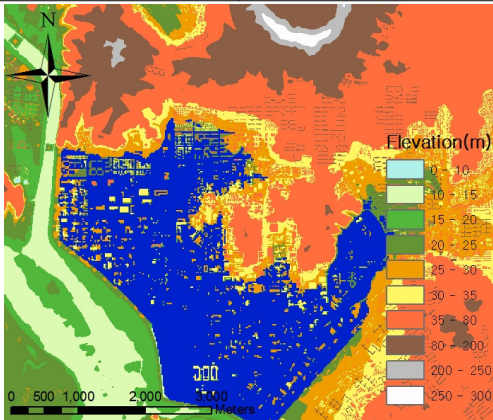
Time (hr)	Area (m ³)	Time (hr)	Area (m ³)
	195,600		353,071
8	3,255,965	12	4,800,473
	8,655,918		11,840,375

5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 하천 제방 붕괴로 인한 제내지의 홍수 침수 경로를 추적하기 위하여 단순화 시킨 홍수범람 모형인

SIMOD를 개발하였다. 모형의 적용성을 검토하고자 금호강 하류에 위치하고 있는 성서지구에 적용하여 제방 붕괴 시 제내지의 침수-확산 경로를 추적하였다. 침수경로를 만들기 위하여 다중흐름방향법(Multi Direction Method)을, 최저표고

Table 3. Variation of Flooded Area in Method (SIMOD)

Time (hr)	Area (m ³)	Time (hr)	Area (m ³)
	93,042		303,630
	1,122,843		1,698,334
	3,861,888		8,286,728

에서 홍수를 누적시키기 위해서 평수가정법(Flat-Water Assumption)을 이용하였다. 그 결과 홍수가 유입되는 지점에서부터 시간에 따라 연속적으로 홍수가 확산되어 나가는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 기존의 침수면적 산정방법과 비교한

결과 FLEM 방법은 월류수위를 그대로 적용하였기 때문에 시작시점에서 유출총량이 14백만톤으로 유출총량으로 볼 때 약 17시간에 해당하는 홍수유입량이 산정되었다. 그에 비해 SIMOD는 침수범위가 비교적 연속적으로 나타나 시간에 따

른 침수-확산 경로를 보다 잘 표출할 수 있는 것으로 판단된다. 그러나 SIMOD는 수리수문적이 함수를 최대한 단순화 시켰기 때문에 이동속도를 유입출구에서의 평균속도로 가정을 하고 모의를 하고 있다. 따라서 아직 토지이용이나 토양에 따른 조도를 적용하지 못하기 때문에 앞으로 속도함수에 따른 모형의 고도화라는 숙제를 안고 있다.

또한 본 모형은 유입량과 지형자료로 모형 구동이 가능하기 때문에 모의시간을 현저하게 단축시킬 수 있다. 강우-유출 모형 또는 제방붕괴 모형 등을 통해서 유입되는 홍수량만 파악을 할 수 있다면 수분 내에 결과를 예측할 수 있기 때문에 EAP와 같은 대피계획을 수립하는데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원(13건설연구S01)에 의해 수행되었습니다.

References

- Jeon, M.W., Han, D.Y., and Choi, K.H. (2005). "Flood inundation analysis from levee failure in nakdong river." *Korea Water Resources Association*, Vol. 38, No. 4, pp. 259-269.
- Jeung, S.J., Lee, S.H., and Kim, B.S. (2015). "Nonstationary intensity-duration-frequency curves under climate change." *Korea Water Resources Association* (Proceedings published).
- Kim, B.H., Choi, S.Y., and Han, K.Y. (2011). "An analysis method of 1D hydrodynamic model based on GIS for flood inundation mapping." *Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 11, No. 6, pp. 227-235.
- Kim, B.S., and Ha, S.R. (2013). "The impact assessment of climate change on design flood in mihochen basin based on the representative concentration pathway climate change scenario." *Journal of Wetlands Research*, Vol. 15, No. 1, pp. 105-114.
- Kim, D.H., Jang, D.W., Park, H.S., and Choi, G.W. (2014). "A study on flood impact upon the downstream area of A river by dam break." *Crisis and Emergency Management: Theory and Praxis*, Vol. 10, No. 2, pp. 117-132.
- L. L., Liu, Y., Wang, X., Yu, D., Liu, K., Huang, H., and Hu, G. (2015). "Developing an effective 2-D urban flood inundation model for city emergency management based on cellular automata." *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Vol. 15, pp. 381-391.
- Lee, J.H., and Yeon, K.S. (2008). "Flood inundation analysis using XP-SWMM model in urban area." *Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 8, No. 5, pp. 155-161.
- Lee, J.T., Hur, S.C., Kim, J.H., and Han, K.Y. (2006b). "Characteristics of the inundation and process of making a flood map according to the levee break conditions in urban stream - Jungrang Experimental Basin." *Korea Water Resources Association*, Vol. 38, No. 4, pp. 259-269.
- Lee, J.T., Jeon, W.J., and Hur, S.C. (2006a). "Analysis of inundation characteristics for EAP of highway in urban stream - Dongbu Highway in Jungrang Stream -." *Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 6, No. 3, pp. 69-76.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (1997). *Kumho River Maintenance Basic Plan*.
- Nanshan, Z., Yasuto, T., and Kaoru, T. (2007). "Simplified flood inundation model integration with rainfall-runoff processes. *Annuals of Disas. Pres. Res. Inst., Kyoto Unic.*, 50 pp. 75-78.
- Park, J.H., Han, K.Y., and Ahn, K.H. (2009). "Development of numerical model to analyze levee break." *Korea Water Resources Association*, Vol. 38, No. 4, pp. 259-269.
- Pathirana, A., Tsegaye, S., Gersonius, B., and Vairavamoorthy, K. (2011). "A simple 2-D inundation model for incorporating flood damage in urban drainage planning." *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 15, pp. 2747-2761.
- Syme, W.J., Pinnell, M.G., and Wicks, J.M. (2004). "Modelling flood inundation of urban areas in the UK using 2D/1D hydraulic models." *The Institution of Engineers, Australia 8th National Conference on Hydraulics in Water Engineering*.
- Tarboton, D.G. (1997). "A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models." *Water Resour. Res.*, Vol. 33, No. 3, pp. 09-19.
- Yang, T.-H., Chen, Y.-C., Chang, Y.-C., Yang, S.-C., and Ho, J.-Y. (2015). "Comparison of different grid cell ordering approaches in a simplified inundation model." *Water*, 7, pp. 438-454.