

GIS 소프트웨어 기반의 홍수 손실 평가 툴 개발

Development of a Flood Loss Estimation Tool within GIS software

Soonyoung Yu^{a,1}, Sunju Lee^{b,2}, Sungwook Kim^{c,*}, Eunkyeong Choi^{c,3}, Kilha Lee^{d,4}, Bonghyuck Choi^{e,5}

a Research Institute of Social Criticality, Pusan National University, Busan 609-735, Republic of Korea

b Department of Mathematics, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Republic of Korea

c Geo-infomation Rearch Lab, GI Co. Ltd., Busan 611-839, Korea

d Department of Civil Engineering, Daegu University, Gyeongbuk-do 712-714, Korea

e Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea

ABSTRACT

A flood loss estimation toolbox was developed within GIS software. This toolbox is for anyone who is interested in the flood loss estimation, and uses data accessible to public. In particular, the loss estimation framework in the toolbox is distinct in that the inventory items are individually dealt with. The toolbox was applied to estimate the economic loss from a levee failure event in 2002. The estimated loss was a little larger than the reported value. The difference is probably due to the asset values and the damage functions for each inventory item, which have to be updated.

KEYWORDS

flood loss estimation
toolbox
GIS software

누구나 쉽게 사용할 수 있도록 상용 GIS 소프트웨어에서 구동되는 홍수 손실 평가 툴박스를 개발하였다. 피해목적물의 위치 정보를 확인하기 위해서는 비교적 쉽게 구할 수 있는 전국 연속수치지형도를 활용하였다. 툴박스는 피해목적물의 개별 위치 정보 및 속성 정보를 활용하여 홍수 손실을 평가하는데, 이로 인하여 행정구역의 통계정보에 기초하는 기존의 홍수 손실 평가 방법을 크게 개선시켰다고 할 수 있다. 홍수 손실 평가 툴박스를 이용하여 2002년에 발생한 제방 붕괴 사건의 경제적 손실을 평가해 보았다. 계산 결과는 보고된 피해액 보다 다소 높게 나타났으며, 이는 피해목적물의 자산가치 정보와 손상함수 정보가 정확하지 않았기 때문으로 판단된다. 앞으로 자산정보 및 손상함수가 지속적으로 보완된다면, 본 연구에서 개발된 홍수 손실 평가 툴은 홍수 저감 정책을 마련하는데 크게 기여할 수 있을 것으로 보인다.

홍수 손실 평가
툴박스
GIS 소프트웨어

© 2015 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-51-506-9261. Fax. 82-51-502-9260.
Email. suwokim@chol.com

1 Tel. 82-51-930-7721. Email. s7yu.iamygy@gmail.com
2 Tel. 82-42-821-5421. Email. leesunju55@naver.com
3 Tel. 82-51-506-9261. Email. choiek@naver.com
4 Tel. 82-53-850-6522. Email. klee@daegu.ac.kr
5 Tel. 82-31-9100-290. Email. bhchoi@kict.re.kr

ARTICLE HISTORY

Received Apr. 02, 2015
Revised Apr. 26, 2015
Accepted Sep. 14, 2015

1. 서론

재난으로 인한 손실 규모를 사전에 예측하는 연구의 중요성이 부각되고 있다. 산업화·도시화 되면서 자연재해의 피해 규모가 커지고, 피해 유형이 다양해지고 있으며, 연쇄 피해 효과까지 보이고 있는데, 이들의 피해를 저감하기 위해서는 손실 규모를 사전에 파악하고 적절한 대책을 강구하는 것이 중요하기 때문이다. 재난 손실 평가 시스템의 수요가 급증하면서, 선진국을 중심으로 재난 손실 평가 시스템이 구축되고 있으며(Dutta et al., 2003; Scawthorn et al., 2011; Al-Momani and Harrald, 2003; Vickery et al., 2006; Merz et al., 2010), 국제기구의 재정 지원을 받아 저개발국가로도 확산되고 있다. 대표적인 예로, 중앙아메리카의 CAPRA (Central American Probabilistic Risk Assessment)와 남태평양의 PCRAFI(Pacific Catastrophe Risk Assessment and Financing Initiative)가 있다.

우리나라도 정부기구는 물론 민간차원의 높은 관심으로 인해, 보험업계(KIDI, 2005)는 물론, 국가적으로도 재난 손실 평가 시스템의 도입을 검토한 바 있으며(NIDP, 2006; 2007), 손실 평가 시스템을 직접 연구한 사례도 있다(Choi et al., 2005; Lee, 2007; Jung et al., 2009). 한국에서 위원장을 맡고 있는 세계기상기구 태풍위원회 방재분과의 경우, 태풍위원회 재해정보시스템 (Typhoon Committee Disaster Information System; TCDIS)를 개발한 바도 있다. 시스템 형식 이외에도 다양한 방법으로 재난 손실이 추정되고 있는데, Lee and Choi (2011)는 재건설 비용을 요인으로 설정하여 해수면 상승에 따른 경제적 손실을 추정하였으며, Choi et al. (2012)은 기후변화로 인한 강우패턴을 고려하여 도시 홍수 손실을 평가하는 방법을 고안하였다. 또한 Lee et al. (2014)은 회귀분석을 통해 태풍 피해액을 추정하였다. 그러나 이와 같은 다양한 시도에도 불구하고 국내에는 아직 시스템화되어 널리 사용 중인 재난 손실 평가 모형이 없다. 보험업계의 경우, 2013년 한국화재보험협회 창립 40주년 기념 세미나에서 자연재해 리스크 관리를 위한 재난 손실 평가 모형(CAT 모델)의 도입을 다시 한번 강조한 바 있으며, 국가 차원에서는 2015년 현재, '풍수해 직접·간접 피해를 고려한 피해산정 및 예측 기술 개발'이 5년 이내 기술 개발 완료를 목표로 착수되었다.

여기서 재난 손실 평가 모델이란 GIS와 컴퓨터 기반의 재난 손실 평가 소프트웨어로, EQECAT, AirWorldwide, RMS 와 같은 영리기관의 모형과 Hazus-MH(미국), FPHLM(미국), Riskscape(뉴질랜드), CAPRA(중앙아메리카), PCRAFI(남태평양) 등의 비영리 모형이 있다. 이들 모형의 기본 구조는 Fig. 1와 같다. 즉 재난 손실 평가 모형은 재난(hazard)의 강도(intensity)와 빈도를 분석하고, 피해목적물(inventory)의 데이터베이스를 구축한 후, 재난에 대한 각 피해목적물의 취약도(vulnerability) 정보를 바탕으로 손실(loss)을 평가한다.

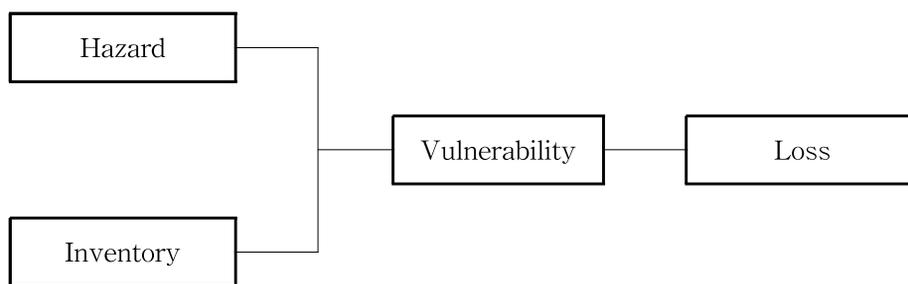


Fig. 1. Structure of catastrophe modelling (Grossi and Kunreuther, 2005)

이 연구는 폭 넓게 사용되고 있는 상용 GIS 소프트웨어 (ArcGIS Desktop 10, ESRI) 기반의 재난 손실 평가 모형을 개발하고자 하였다. 특히 국내에서 가장 빈번하게 피해를 입고 있는 홍수를 중심으로 모형을 구축하였는데, 홍수의 경우, 국내에서도 손실 평가 방법(다차원 홍수 피해 산정 방법 등)이 비교적 잘 정립되어 있다. 특히, Choi et al. (2005)과 Lee (2007)은 다차원 홍수 피해 산정 방법(다차원법)을 GIS 기반의 시스템으로 구축하였으며, Byeon et al. (2008)은 엑셀을 이용하여 다차원법을 실무에 적용하는 방법을 소개한 바 있다. 이외에도 Lee et al. (2011)은 다차원법을 이용하여 강원도 장현 동막 저수시 붕괴에 따른 홍수 피해액을 산정하고 실제 집계된 총피해액과 비교하였다. 그러나 다차원법은 읍면동 규모의 비교적

낮은 해상도를 가진다. 참고로 미국 연방재난관리청의 Hazus 홍수 모형은 지진 모형, 태풍 모형과 달리, 센서스 블록(census block) 단위의 고해상도 자료를 사용하고 있으나, 센서스 블록 단위의 자료도 역시 집합자료(aggregate data)로써, 피해목적물의 개별 정보를 그대로 활용하는 것은 아니다. 이 연구는 다차원법 및 Hazus와 유사한 평가 방법(Fig. 1)을 따르되, 피해목적물의 개별 위치 정보 및 속성 정보를 활용하여 손실 평가의 해상도를 크게 높였다. 또한 홍수 손실에 관심이 있는 사람이면 누구나 사용할 수 있는 툴박스를 개발하고자 한 것으로, 이 툴박스의 사용을 원하는 연구자는 교신저자를 통해 무료로 스크립트를 제공받을 수 있다. 이와 같은 툴박스가 만들어져 널리 사용될 경우, 많은 GIS 사용자가 보다 손쉽게 홍수 손실을 평가하고, 홍수 위험도의 정량적인 비교와 평가는 물론 다양한 방재분야에 널리 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 툴박스 개발

이 연구는 프로그램을 구동하고 몇 번의 클릭만으로 기초단계의 홍수 손실이 평가되도록 개발되었다. 상용 GIS 소프트웨어(ArcGIS Desktop 10)에서 Arcpy (파이썬 프로그래밍 언어를 기반으로 만들어진 GIS 기능 함수)를 이용하여 스크립트를 작성하여 개발되었기 때문에, ArcGIS Desktop 10을 가진 사람이라면 누구나 사용이 가능한 장점이 있다. 스크립트에는 ArcGIS에서 제공하는 다양한 지오프로세싱 툴(Geoprocessing functions)이 사용되었으며 (ESRI, 2015), 스크립트를 카탈로그 창(Catalog window)에서 열면 새로운 툴박스(toolbox)가 만들어지는 방식으로 사용하게 된다. 또한 홍수 손실에 관심이 있는 누구나 사용할 수 있는 홍수 손실 툴박스를 개발하고자 한 것으로, 피해목적물의 위치 정보는 전국 연속수치지형도를 기준으로 하였다. 전국 연속수치지형도는 dxf 파일로, 지형지물의 위치 정보를 점, 선, 면의 벡터 형태로 제공한다. 도로, 건물 등의 지형지물을 통합코드 (SCLS) 8자리로 분류하고 있어, 필요로 하는 지형지물만 골라서 추출할 수도 있다. 국토지리정보원을 통해 구매가능하다.

손실 평가 과정은 Fig. 1을 기반으로 하되, 국내 다차원 홍수 피해 산정 방법(다차원법) 및 미국의 Hazus 손실 모형을 참고하였다. 그러나 국내 다차원법 및 미국의 Hazus와 달리, 행정구역의 통계 자료가 아닌 피해목적물의 개별 정보를 활용하여 손실을 평가하도록 개발되었다. 이를 위하여 Fig. 2과 같이, 피해 범위 내 피해목적물의 개별 위치 및 개별 위치에서의 속성 정보(침수심, 자산가치, 손상함수)가 필요하다. 피해목적물의 위치 정보(즉 전국 연속수치지형도)와 속성 정보(특히 침수심)은 서로 다른 출처를 갖게 되며, 이에 두 정보를 중첩하기 위해서 GIS 기능이 필요한데, 재난 손실 평가에 GIS 소프트웨어가 널리 활용되는 이유이기도하다.

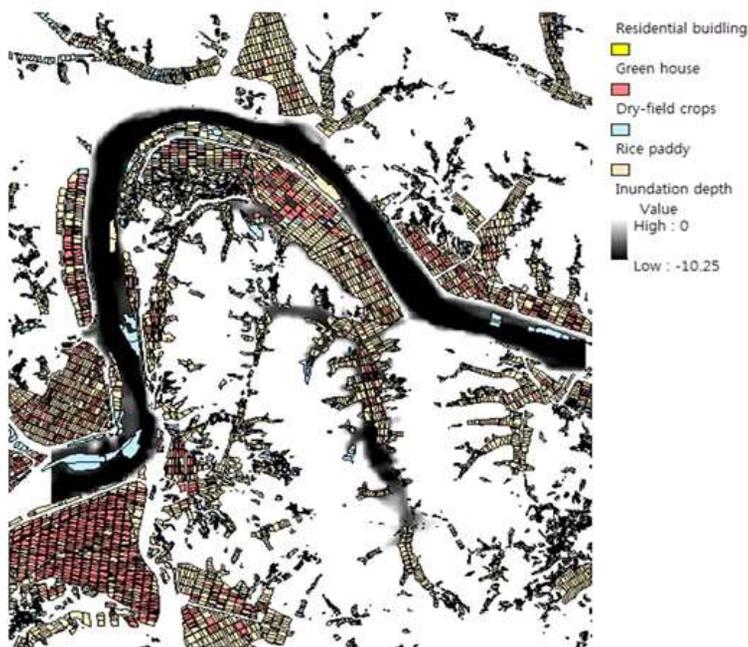


Fig. 2. Inventory in the study area

Fig. 3은 본 연구에서 개발된 홍수 손실 툴박스의 인터페이스를 보여주고 있다. 앞서 말했듯이, ArcGIS의 카탈로그 윈도우(Catalog window)에서 새로 작성한 스크립트를 열면, 새로운 툴박스가 만들어지는데, Fig. 3은 새로 생성된 툴박스의 인터페이스가 된다. Fig. 3에서 'Output'은 결과물이 저장되는 폴더를 선택하는 단계이고, 'Flood Depth_raster'는 침수심 파일을 불러오는 단계이다. 현재 침수심은 래스터 파일로 불러오게 되어 있다. 'Inventory_shp'는 피해목적물의 위치 정보를 불러오는 단계로 shape 파일 형태로 변환한 전국 연속수치지형도를 shape 파일 형태로 불러오게 된다. 'Selection_SCLS'는 연속수치지형도의 통합코드 (SCLS)를 선택하는 단계로, 손실 평가에 활용하고자 하는 피해목적물을 선택하는 단계이다. 여러 개의 피해목적물을 동시에 선택할 수 있다. 예를 들면, 주택과 온실을 선택할 경우, 식 (1)과 같이 입력한다.

$$\text{SCLS} = \text{B0014112}; \text{SCLS} = \text{B0014117} \quad (1)$$

여기서 B0014112과 B0014117 는 각각 전국 연속수치지형도에서 주택과 온실의 통합코드(SCLS)이다. 이외에도 Fig. 3의 'Unit asset value'는 피해목적물의 단위 면적당 자산 가치를 입력하는 단계이며, 'Damage function'은 피해목적물의 손상함수를 불러오는 단계이다. 손상함수는 피해목적물마다 테스트 파일 형태로 불러오게 된다. 여기서 개발 피해목적물의 자산가치(V_{ij} ; 자산 j 가운데 i 번째 피해목적물의 자산가치)는 단위 면적당 자산 (j) 가치에 개별 피해목적물 (i)의 총면적을 곱하여 평가되는데, 총면적을 계산하기 위해서는 전국 연속수치지형도의 폴리곤(polygon) 정보를 활용하였다. 이 연구에 포함된 자산(j)의 종류는 Table 1과 같다.

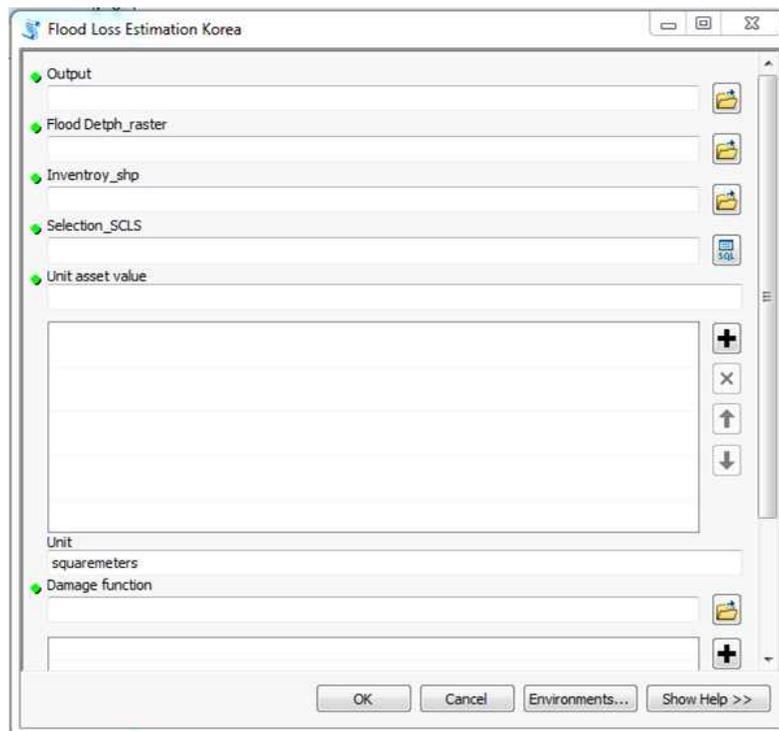


Fig. 3. Interface of the toolbox

3. 툴박스를 이용한 손실 평가

홍수 손실을 평가하기 위해서는 침수심, 피해목적물의 위치 정보 및 자산 가치와 손상함수가 필요하다. 가용할 수 있는 자료를 최대한 사용하여 홍수 손실을 평가하고 툴박스의 손실 평가 능력을 검증해 보았다.

3.1 침수심 분포

2002년 경상남도 함안군에서 발생한 백산제 붕괴 사건이 2D 천수방정식 모형(Gerris)으로 재현된 후 침수흔적도를 이용하여 검증되었다(An et al., 2015). Fig. 4는 An et al. (2015)가 Gerris를 이용하여 평가한 침수심을 래스터 파일 형태로 변환한 결과이다. 국내 홍수 피해가 대부분 내수 침수 형태인 것을 고려할 때, 앞으로 내수 침수 모델링도 필요할 것으로 보인다(Yoo et al., 2015).

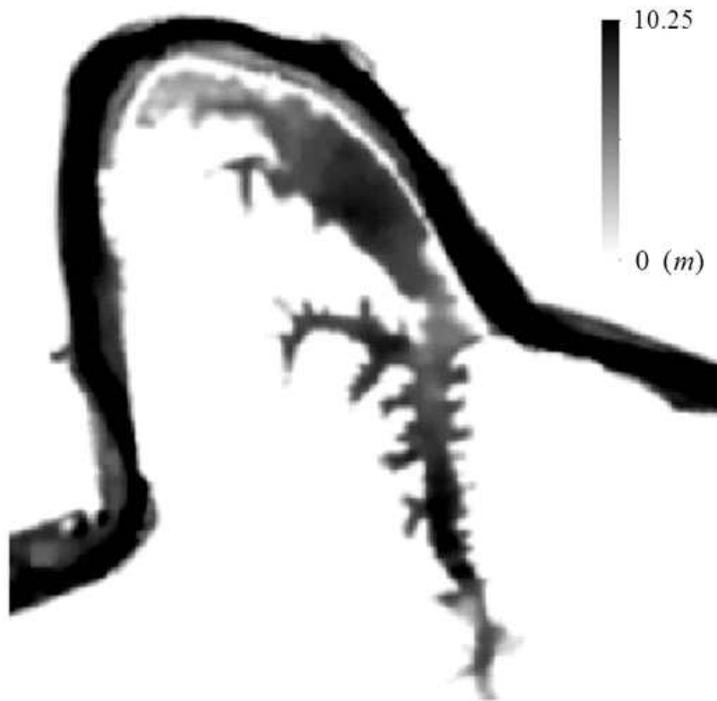


Fig. 4. Flood depth

3.2 피해목적물의 분포와 자산 가치

전국 연속수치지형도에서 Fig. 4의 침수심 분포로 인해 피해를 입을 수 있는 지역을 일부 추출하였다 (Fig. 2). 연구지역은 대부분 주택과 논밭 등의 경작지로 활용되고 있으므로, 통합코드 (SCLS) B0014112(주택), B0014117(온실), D0015211(논), D0015212(밭)를 기준으로 피해목적물을 분류하였다 (Table 1). 재난으로 인한 피해액을 산정하기 위해서는 피해목적물의 위치정보 이외에도 자산 가치 정보가 필요하다. 본 연구는 가용한 통계자료, 논문, 보고서 등을 최대한 활용하여 Table 1과 같이 피해목적물에 단위 자산 가치를 부여하였다.

Table 1. Unit Asset Price

Inventory (j)	SCLS	Unit Asset Price
Building	B0014112	508,428 KRW/m ²
Buidling contents	B0014112	12,182,399 KRW / house
Agricultural land	D0015211, D0015212	5,660 KRW/m ² (washout) 2,940 KRW/m ² (burial)
Rice	D0015211	1042KRW/m ²
Dry field crop	D0015212	220.4 KRW / m ²
Green house	B0014117	7,660 KRW/m ²

3.3 손상함수

손상함수의 경우, 국내에 보고된 손상함수를 기본으로 하되, 국내 자료가 없는 경우, 해외에서 보고된 함수를 사용하였다 (Fig. 5). Fig. 5에서 주택, 주택내용물, 농경지의 경우, 다차원법에서 사용하는 자료를 활용하였고, 온실의 경우, 독일 자료(E-Learning Platform for Integrated Flood Management (IFM))를 활용하였다. 한편 농작물의 경우, 침수심(h_{ij})이 1m 이하 일 경우, 침수기간 (d_{ij})에 따라 피해율을 달라진다(Choi et al., 2006). 본 연구에서는 침수기간에 대한 정보가 부족하여, 침수기간을 2일로 고정시켰다 (Table 2). 여기서 j 는 자산의 종류를 의미하며(Table 1), i 는 자산 j 에 포함된 피해목적물들의 일련번호를 의미한다.

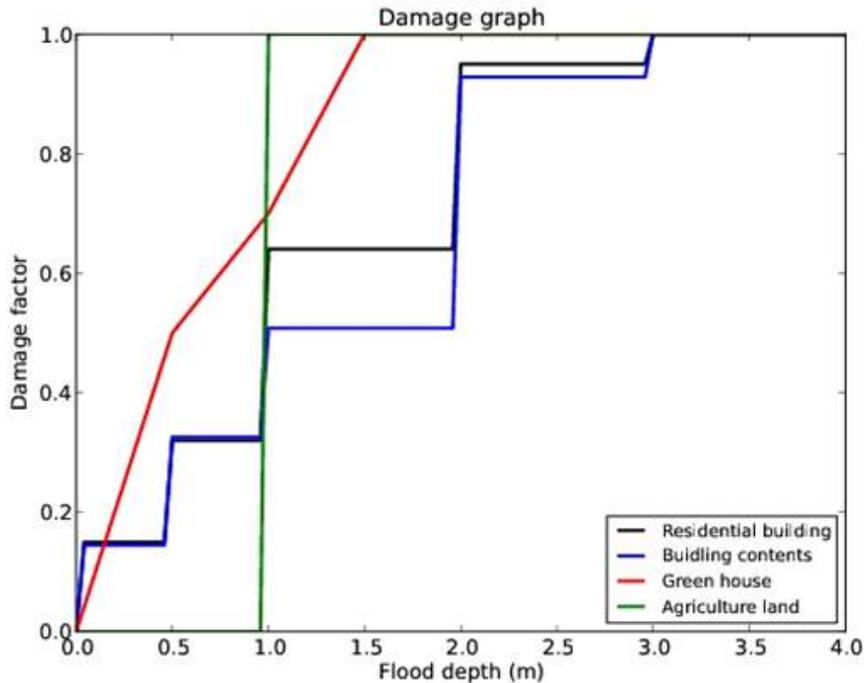


Fig. 5. Damage functions

Table 2. Damage ratio (%) of agricultural crops

Inventory (j)	Duration (d_{ij} , days)				
	< 1	1-2	3-4	5-6	> 7
Rice	14	27	47	77	95
Dry field crop	35	51	67	81	95

3.4 손실 평가 프레임워크

위의 자료를 이용하여 2002년 백산제 붕괴로 인한 손실을 평가하였다. 평가절차를 요약하면 Fig. 6과 같다. 침수심 (h_{ij}), 자산가치(V_{ij}), 손상함수(f) 등을 이용하여 피해율(D_{ij})을 계산한 후 손실(I_{ij})을 계산하는 방식이 국내 다차원법과 유사하며, Fig. 1의 프레임워크를 따른다.

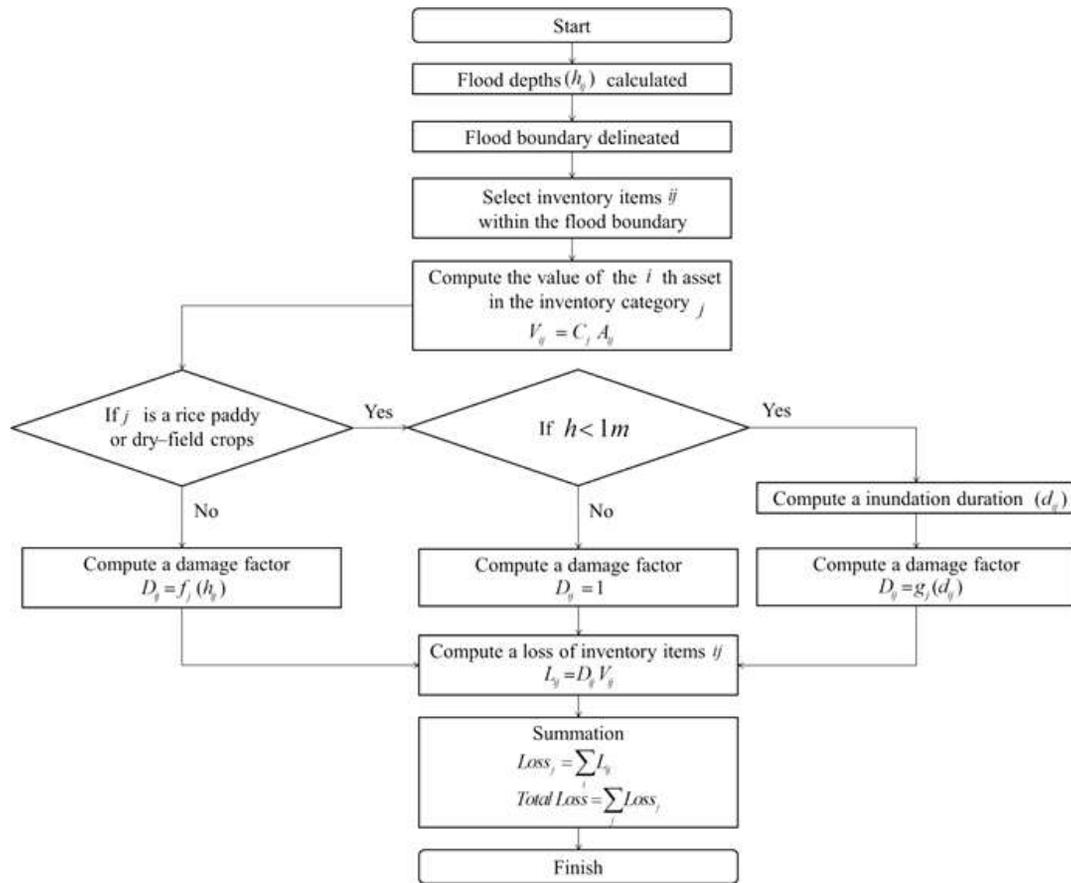


Fig. 6. Process of the flood loss estimation within the toolbox

3.5 결과

홍수 손실 평가틀에 의한 계산 결과, 백산제 제방붕괴에 의한 총손실(Fig. 6의 Total Loss)은 28,214.3 백만원으로 추정되었다. 이는 2002년 8월 함안군이 입은 호우 피해액 24,388 백만원 (NEMA, 2003) 보다 다소 크다. 이는 자산가치 정보 및 손상함수의 정확도 문제로 인한 것으로 판단되며, 이에 앞으로 자산가치 정보 및 손상함수는 지속적으로 보완될 필요가 있다. 예를 들면, 비록 전국 연속수치지형도에서 동일하게 주택(SCLS = B0014112)으로 분류되어 있는 주택이더라도 건축 양식과 건축 자재 등의 차이로 단위 면적당 자산가치가 다를 수 있고, 홍수 취약성이 다를 수 있는데, Table 1 및 Fig. 5에서는 이런 차이가 고려되어 있지 않다. 침수기간도 동일하게 2일을 적용하였다. 또한, 전국 연속 수치지형도는 건물의 3차원 정보는 제공하지 않는데, 정확한 홍수 손실을 평가하기 위해서는 지하층의 유무 정보가 필요할 것으로 보인다. 아울러 Fig. 5의 손상함수는 다차원법에 제시된 것으로 피해 지역에 존재하는 자산(피해목적물)의 홍수 취약성을 제대로 반영하지 못할 수 있다. 홍수 손실 평가 틀을 널리 이용하기 위해서는 정확도를 높이는 연구가 지속적으로 필요할 것으로 보인다.

그러나 이 연구는 홍수 손실 평가 틀을 개발하였다는데 큰 의의가 있으며, 무엇보다 행정구역의 통계자료가 아닌 좁은 지역에 대하여 개별 피해목적물의 위치 분포와 속성 정보를 활용하여 Fig. 7과 같이 손실 분포를 정밀하게 분석하였다는데 그 의의가 있다. Fig. 8은 연구지역이 함안군의 극히 일부에 해당함을 보여주고 있다. 만약 기존의 홍수 손실 평가 방법(다차원법 등)처럼 행정구역의 통계를 이용하였다면 계산 오차는 더 컸을 것이다.

4. 결론

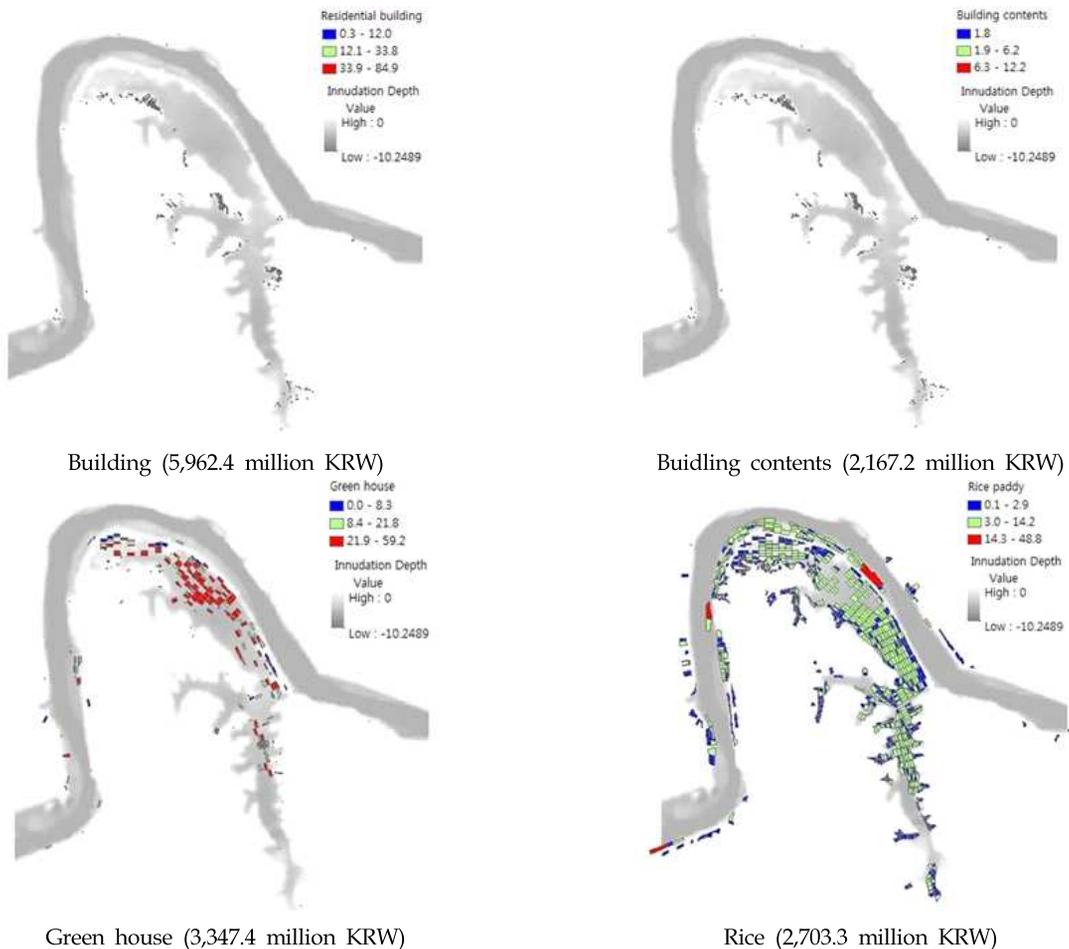
홍수 손실에 관심이 있는 사람이면 누구나 사용할 수 있는 소프트웨어를 개발하기 위해, 상용 GIS 소프트웨어 안에서 사용할 수 있는 홍수 손실 툴박스를 개발하였다. 본 연구에서 개발된 툴박스는 ArcGIS Desktop 10을 가진 사람이면 누구나 사용 가능하다. 개발된 툴박스의 손실 평가 기능을 검증하기 위해 가용할 수 있는 자료를 최대한 사용하여 2002년 발생한 제방 붕괴 사건의 홍수 손실을 평가해 보았다. 평가 결과 (28,214.3 백만원)는 보고된 피해액 (24,388 백만원)과 40억 정도의 차이가 발생하였다. 이는 자산가치 정보 및 손상함수의 정확도 문제로 인한 것으로 판단되며, 이에 앞으로 자산가치 정보 및 손상함수에 대한 연구가 지속적으로 필요할 것으로 보인다. 또한 연구지역이 비교적 좁은 편임에도 불구하고 계산 시간이 수십 초(40초)가 소요되었다. 계산 시간을 향상시키기 위하여 계산 알고리즘의 연구 또는 워크프로워(work flow)의 보완도 필요할 것으로 판단된다.

그러나 본 연구에서 개발한 손실 평가 툴은 행정구역단위의 통계 자료가 아닌 개별시설물을 기준으로 손실을 평가하고 있으므로, 기존의 홍수 손실 평가 방법 보다 더 정확한 손실 평가를 가능케 한다.

현재, 툴박스를 사용하기 위해서 사용자는 수작업으로 침수심 정보와 피해목적물 위치 정보가 동일한 좌표체계를 가지도록 해야 한다. 앞으로 전국 연속수치지형도를 기준으로 좌표체계를 통일화 하는 방법을 보완하여 사용자의 편의를 돕고자 한다. 또한 사용자 메뉴얼도 작성하여 함께 배포하고자 한다.

감사의 글

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



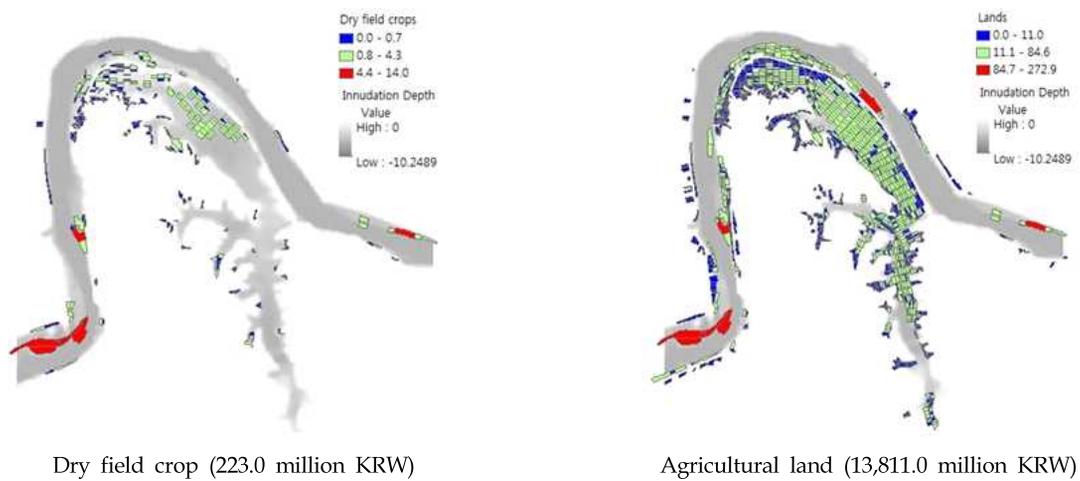


Fig. 7. Losses for each inventory

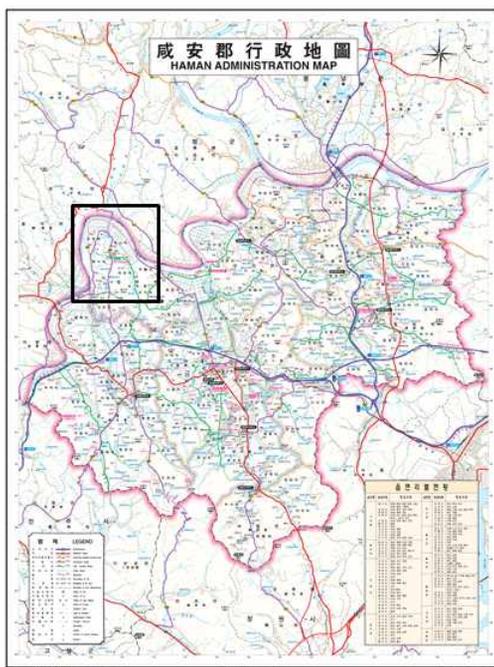


Fig. 8. Study area within Haman-gun, Gyeongsangnam-do

References

- Al-Momani, N. M., Harrald, J. R. (2003). "Sensitivity of earthquake loss estimation model: how useful are the predictions," *International Journal of Risk Assessment and Management*, Vol.4, No.1, pp.1-19.
- An, H., Yu, S., Lee, G., Kim, Y. (2015) "Analysis of an open source quadtree grid shallow water flow solver for flood simulation." accepted to *Quaternary International*.
- Byeon, S. H., Lee, J. H., Kim, T. W. (2008). "Economic Analysis in Flood Control using Excel." *Water and Future*, Vol. 41, No. 1, pp. 51-60.
- Choi, H. S., Koo J. H., Lee, J. W. (2005). "A Study of Web-GIS System Development for Supporting the Multi-dimensional Flood Damage Analysis(MD-FDA)." *Proceeding of Korean Society of Civil Engineers*, pp. 2641-2647.
- Choi, S. A., Lee, C. S., Shim, M. P., Kim, H. S. (2006). "Multi-Dimensional Flood Damage Analysis (I): Principle and Procedure." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 39, No. 1, pp.1-9.
- Choi, S. Y., Kim, Y. T., Kim, K. J., Jung, D. J., Choi, S. M., Lee, K. J. (2012). Study on development of loss estimation method for urban flood. National Institute for Disaster Prevention.
- Dutta, D., Herath, S., Musiak, K. (2003). "A mathematical model for flood loss estimation." *Journal of Hydrology*, Vol.277, No.1-2, pp.24-49.
- ESRI (2015) ArcGIS Resource Center.
http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/What_is_geoprocessing/
- Grossi, P., Kunreuther, H. (2005). *Catastrophe Modeling: a new approach to managing risk*, Springer.
- Jung, W. S., Park, J. K., Choi, H. J. (2009). "An Evaluation of the Economic Damage Scale in Gyeongsangnam-Do by an Attack of Typhoon Maemi." *Proceeding of the 49th Meeting of Korean Society for Atmospheric Environment*, pp. 148-150.
- KIDI (Korea Insurance Development Institute) (2005). *Natural Disaster Risk Management and CAT models*
- Lee, G. H., Park, K. W., Yu, W. S., Jung, K. S., Jang, C. L. (2011). "A Study on Flood Damage Estimation Using DEM-based Flood Inundation Model and MD-FDA." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.11, No.5, pp. 327-336.
- Lee, J. W. (2007). "A Study of Efficiency in River Flood Control Project Management using GIS." *ENGINEERING & CONSTRUCTION TECHNOLOGY*, pp. 25-31.
- Lee, S, Choi, J. (2011). "Analysis for Economic Cost of Sea Level Rise - Case Study: Haeundae Gu, Busan." *Journal of Korean Geographical Society*, Vol. 45, No.5, pp. 597-607.
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., Thielen, A. (2010). "Review article Assessment of economic flood damage", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Vol.10, pp.1697-1724.
- NEMA (National Emergency Management Agency) (2003). *Review of natural disasters in 2002*
- NIDP (National Institute for Disaster Prevention) (2006). *Study on the Algorithm for Typhoon Risk Assessment*.
- NIDP (2007). *Development of the Fragility Functions of Industrial Buildings due to Wind Hazard in Korea*.
- Scawthorn, C. (2011). "Open-source Risk vs. Proprietary Risk Models." *Disaster Risk Management in East Asia and the Pacific Distance Learning Seminar Series*.
- Vickery, P. J., Skerlj, P. F., Lin, J., Twisdale, L. A., Young, M. A., Lavelle, F. M. (2006). "HAZUS-MH Hurricane Model Methodology. II: Damage and Loss Estimation." *Natural Hazards Review*, Vol.7, No.2, pp.94-103.
- Yoo, J., Song, J., Jang, M., Kim, H. (2015). "Nationwide Inundation Analysis method for Flood and Storm Disaster Insurance Rate." *Journal of The Korean Society of Disaster Information*, Vol. 11, No. 1, pp. 55-62.