

ORIGINAL ARTICLE

DEM 개선을 통한 중소하천 홍수범람지도 정확도 향상

김태은 · 서강현 · 김동수* · 김서준¹⁾

단국대학교 토목환경공학과, ¹⁾주식회사 자연과기술

Enhancement of Digital Elevation Models for Improved Estimation of Small Stream Flood Inundation Mapping

Tae-Eun Kim, Kang-Hyeon Seo, Dong-Su Kim*, Seo-Jun Kim¹⁾

Department of Civil & Environmental Engineering, Dankook University, Yongin 16890, Korea

¹⁾ Nature and Technology Inc., Andong 36754, Korea

Abstract

The accuracy of digital elevation models (DEMs) is crucial for properly estimating flood inundation area. DEM pixel size is especially important when generating flood inundation maps of small streams with a channel width of less than 50 m. In Korea, DEMs with large spatial resolutions of 30 m have been widely applied to generate flood inundation maps, even for small streams. Additionally, when making river master plans, field observations of stream cross-sections, as well as reference points in the middle of the river, have not previously been used to enhance the DEM. In this study, it was graphically demonstrated that high-resolution DEMs can increase the accuracy of flood inundation mapping, especially for small streams. Also, a methodology was proposed to modify the existing low-resolution DEMs by adding additional survey reference points, including river cross-sections, and interpolating them into a high spatial resolution DEM using the inverse distance weighting method. For verification purposes, the modified DEM was applied to Han stream on Jeju Island. The modified DEM showed much better accuracy when describing morphological features near the stream. Moreover, the flood inundation maps were formulated with the original 30 m pixel DEM and the modified 0.1 m pixel DEM using HEC-RAS modeling of the actual flood event of Typhoon Nari, and then compared with the flood history map of Nari. The results clearly indicated that the modified DEM generated a similar inundation area, but a very poor estimate of inundation area was derived from the original low-resolution DEM.

Key words : Flood inundation map, Digital elevation model, Spatial resolution, Small stream

1. 서론

홍수범람지도란, 돌발호우나 태풍으로 인한 홍수 발생 시 인명 및 재산피해를 최소화하기 위해 홍수지역을 미리 예측 가능하도록 제작된 지도이다. 홍수범람지도는 홍수에 대비하여 도시계획이나 댐 수위 조

절 운영, 제방 등의 설계에 주요 지표로 사용되며 거주 지역에 대한 홍수발생 여부를 예보하거나 홍수 발생 시 신속하고 안전하게 대피하도록 하는 홍수 예경보 시스템 구축 등에 중요한 역할을 한다(Ministry of Public Safety and Security, 2015).

일반적으로 홍수범람지도는 1차원 혹은 2차원

Received 21 June, 2016; Revised 2 August, 2016;

Accepted 12 August, 2016

*Corresponding author : Dong-Su Kim, Department of Civil & Environmental Engineering, Dankook University, Yongin 16890, Korea

Phone : +82-31-8005-3611

E-mail : kds406@gmail.com

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

수치모형으로 모의된 홍수위와 수치표고모델 (digital elevation model: DEM)을 상호 비교하여 제작된다. 따라서, 홍수위 모델링과 함께 수치표고모델(DEM)은 홍수범람지도 작성 시 범람구역 예측 정확도에 직접적인 영향을 미치는 주요 인자이다(Hong and Sim, 2009; Jung et al., 2013). 일반적으로 국가에서 제공하는 DEM의 경우 공간적인 해상도가 대부분 30 m 내외로 하폭이 크고 범람범위도 넓은 국가하천 등 홍수지도 작성에 다수 활용되고 있다(National Geographic Information Institute, 2012). 그러나, 하천의 하폭이 50 m 내외의 중소하천의 경우, 범람의 범위가 하천에 비해 매우 협소하여 DEM의 공간적인 정밀도가 홍수범람지도에 미치는 불확도는 상대적으로 크다고 할 수 있다. 예를 들어, 하폭이 30 m 내외의 중소하천에 공간해상도 10 m의 DEM을 사용할 경우, 하도 내에 격자를 3개밖에 포함할 수 없을 뿐만 아니라 하천 주변의 지형도 정밀하게 나타내지 못하기 때문에 홍수위를 하도 주변에 외삽할 경우, 획득한 홍수범람지도의 영역이 매우 민감하게 변화할 수 있다. 따라서, 중소하천의 홍수범람지도의 정확도를 높이기 위해서는 상대적으로 고정밀도의 DEM을 사용할 필요가 있다.

최근 DEM의 공간정밀도를 향상시켜 홍수범람지도의 정확성을 높이기 위해 인공위성, 항공사진, LiDAR 측량 기법 등을 활용하는 연구들이 수행되어 왔다(Park and Kim, 2011; Choi et al., 2013; Jung et al., 2013). 그러나, 이러한 방식들은 고비용을 수반하여 중소하천에 적용하는 단계에 이르지 못하고, 오히려 국가의 중점 홍수관리 대상인 국가하천 규모의 정밀 홍수범람지도 작성 시 활용되고 있다. 따라서, 중소하천의 홍수범람도 작성에는 여전히 저해상도의 DEM이 사용되고 있어 정확도가 높은 범람지도가 생성되지 못하고 있는 실정이다(Lee, 2014).

한편, 중소하천의 경우에도 하천기본계획 수립 시 단면측량, 기준점 측량 등 다양한 표고점 측량을 실시한다. 그러나, 중소하천 홍수범람지도 작성 시 존재하는 하천 주변 측량 성과를 활용하여 DEM을 개선하지 않고, 공간해상도가 큰 DEM을 일률적으로 적용하고 있다. 따라서, LiDAR 등 고비용 고정밀도 표고 측정이 어려운 중소하천의 경우, 하천기본계획을 통해 확보된 제외지 및 제내지 일부 단면측량 성과나 국토공

간영상정보서비스에서 제공하는 기존 표고점, 등고선 정보 등 가용한 측량 자료를 활용하여 홍수범람이 발생하는 하천 인근 지역의 저해상도 DEM (30 m 해상도)을 향상시켜 홍수범람지도의 정확성을 제고할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 저해상도 DEM을 중소하천에 적용할 경우 홍수범람지도 발생할 수 있는 문제를 도해적으로 제시하고, 기존 국토공간영상정보서비스에서 제공하는 공간해상도 30 m DEM을 기반으로 하천 기본계획 작성 시 확보된 하천 단면 및 제내지 기준점 측량 성과를 결합하여 고정밀도 DEM을 생성시키는 방안을 제시하였다. 개선된 DEM의 적용성 평가를 위해 하폭 약 50 m 중소하천인 제주도 한천에 DEM을 시범적으로 구축하였고, 개선 전후 DEM을 비교하여 하도 주변 지형의 묘사의 적절성을 평가하였다. 또한, 2007년 태풍 나리 유출 사상 자료를 기반으로 HEC-RAS 모델링을 통해 확보된 홍수위를 개선 전, 후 DEM에 적용하여 홍수범람지도를 생성하고 실제 침수확적도와 비교하여 중소하천에서 DEM 개선효과를 분석하였다.

2. 중소하천 홍수범람지도 작성 시 DEM 공간해상도 영향

DEM의 공간해상도는 하폭이 좁고 범람 구역이 상대적으로 작은 중소하천의 홍수범람도 작성에 영향을 준다. 중소하천의 홍수범람도 개선 방안을 제시하기에 앞서, DEM의 공간해상도가 범람지역 산출에 미치는 영향을 도해적으로 제시하면 다음과 같다. LiDAR 등을 활용한 고정밀도 DEM을 적용할 수 없는 경우, 일반적으로 국토공간영상정보서비스(<http://air.ngii.go.kr/index>)에서 제공하는 90×90 m 격자, 혹은 Biz-GIS (<http://www.biz-gis.com>) 등에서 제공하는 30×30 m 격자로 이루어진 저해상도 DEM을 적용할 수 있다. 앞서 언급했지만, 30 m 해상도의 DEM은 대하천의 홍수범람도 작성에 적용되어 왔고, 중소하천의 경우에도 대부분 이러한 저해상도의 DEM이 적용되고 있다. 저해상도와 고해상도 DEM으로 지표의 기록을 나타내면 Fig. 1과 같은데, 저해상도 DEM (Fig. 1a)은 격자 크기가 크기 때문에 격자와 격자 사이에

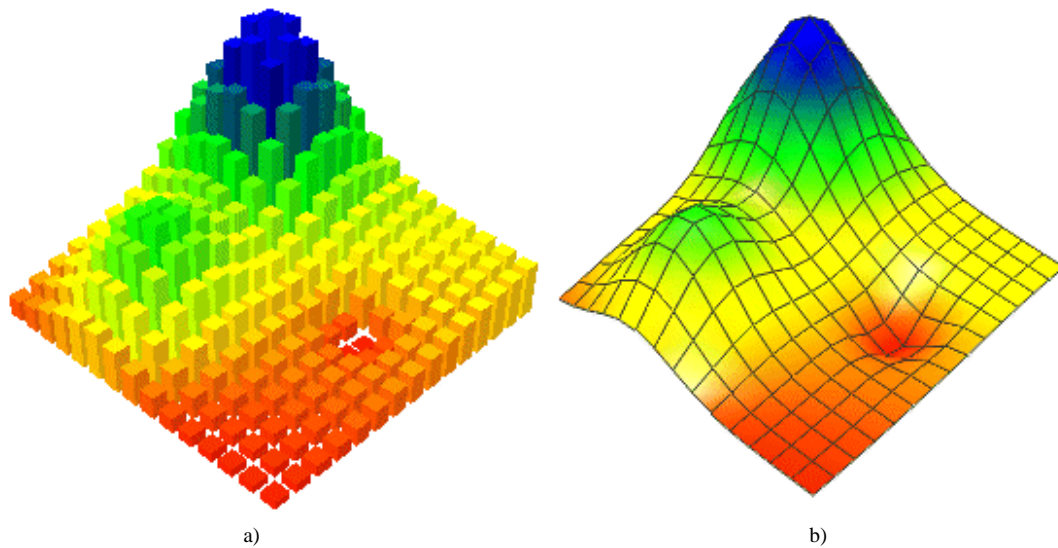


Fig. 1. Comparison of terrain representation driven by different spatial resolution of digital elevation model (DEM): a) spatially coarse DEM; b) spatially dense DEM.

지표 기록의 단차가 고해상도 DEM (Fig. 1b)에 비해 명백하게 나타남을 알 수 있다. 이러한 기록은 홍수 범위가 상대적으로 작은 중소하천의 홍수범람지도를 표출할 경우 주어진 홍수위 변화에 따른 홍수범람지도의 변화에도 상당한 격차를 수반할 수 있다.

이러한 격차 크기의 문제를 좀더 구체적으로 살펴보면 Fig. 2와 같다. 첫째, 제내지 범람 지역을 예측함에 있어 정밀도가 낮은 DEM을 이용할 경우 Fig. 2a와 같이 하나의 격자 내에 중소하천 제내지의 지형 및 지물들이 포함될 수 있고, 결과적으로 Fig. 2c,e와 같이 작은 홍수위 변화에도 격차가 홍수 혹은 비홍수 지역으로 매우 민감하게 변화한다. 즉, 실제 범람 양상이 Fig. 2b,d와 같다면 낮은 해상도의 DEM은 범람지역을 과소 혹은 과다하게 예측할 수 있음을 알 수 있다. 이러한 양상은 Fig. 2c에 나타난 바와 같이 낮은 공간 해상도의 DEM의 경우 하천의 단면 및 주변 제내지 지형이 실제와 다르게 계단형으로 나타나며 Fig. 2e와 같이 홍수범람 범위도 연동되어 영향을 받는다. 국가 하천과 같은 광역단위 홍수범람지도의 경우 DEM의 공간해상도로 인해 일부 발생하는 오차는 공간규모에 비해 무시할 수 있으나, 중소하천 인근의 경우 큰 격차의 DEM은 상대적으로 큰 오차를 유발할 수 있다. 결

과적으로 정확도가 낮은 홍수범람지도의 도출은 중소하천의 홍수취약성 평가, 치수대책 수립, 하천 정비 등에 영향을 줄 수 있기 때문에 그 파급효과는 크다고 할 수 있다.

한편 홍수범람지도 작성 시 필수적인 홍수위 계산은 HEC-RAS와 같은 1차원 수치모형을 활용할 경우, 보통 1 cm 단위로 정밀하게 홍수위를 산출할 수 있다. 그리고, 수치모형으로 도출된 홍수위를 공간적으로 외삽하여 홍수위 표고자료를 래스터 형태로 생성하고 주어진 수치지형도(DEM)와 표고를 비교하여 홍수위가 표고보다 높은 지역을 범람지역으로 처리한다. 그런데, 국가 제공 DEM의 경우 표고의 증감단위가 1 m 인 정수형 표고를 제공하는 경우가 대다수로, 실수형 표고인 홍수위 래스터와 절대비교가 되지 않아 1 cm 단위의 홍수위 래스터가 정수형으로 반올림되어 비교되므로 오차가 발생 할 수 있다. 따라서, 범람이 되는 제내지의 표고 격차가 이보다 클 경우 부정확한 범람수위로 연결되어 범람 지역의 예측 정확도가 낮아지는 원인이 될 수 있다. 정수형 DEM을 이용하여 범람지역을 처리하였을 경우에 발생하는 문제점을 구체적으로 나타내면 Fig. 3과 같다. 예를 들어, 실제 건물들이 위치해있는 표고는 2.6 m 이지만 정수형 DEM

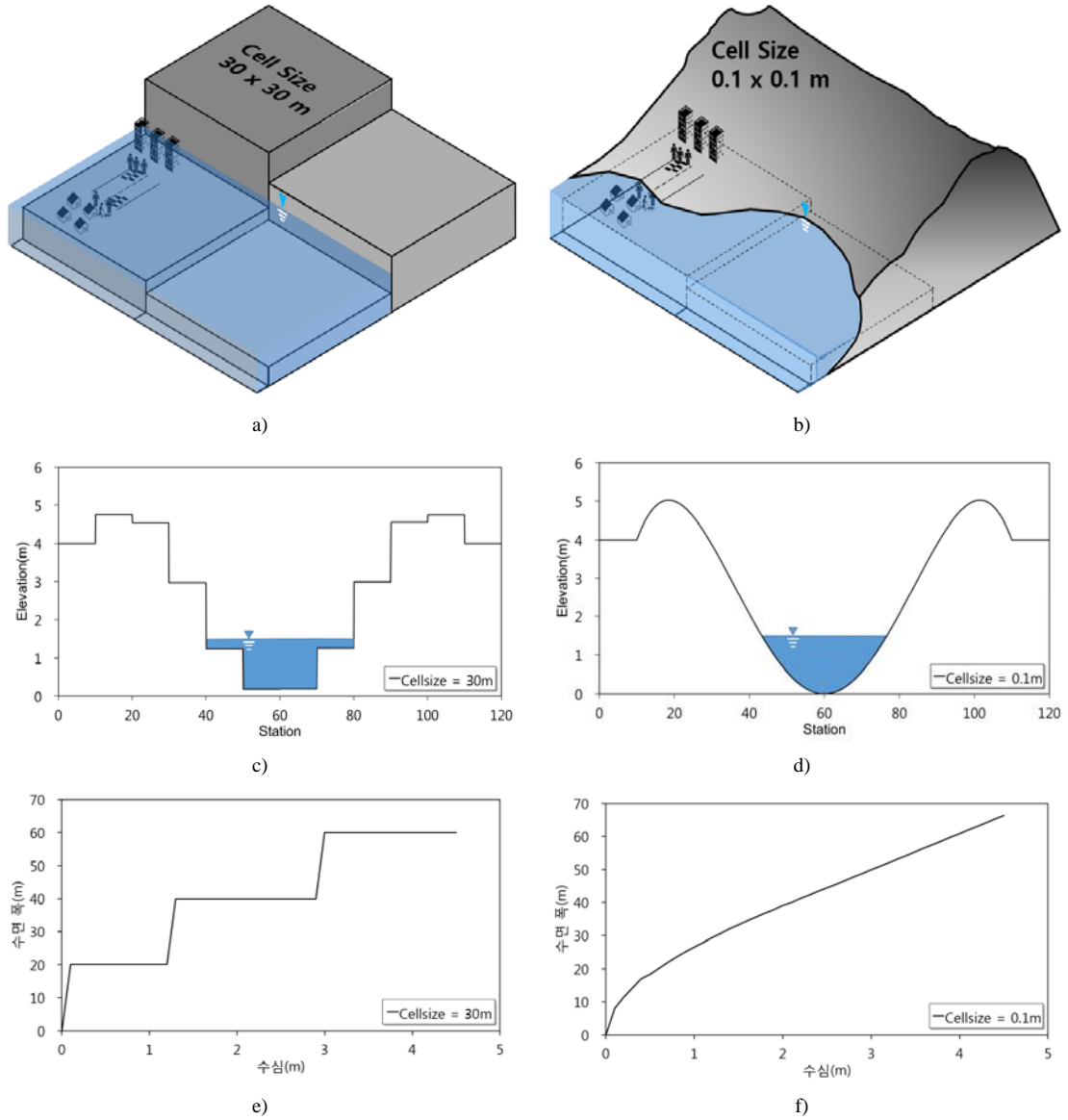


Fig. 2. Sensitivity of flood inundation map due to different pixel size for the given DEM in the small stream: a) roughly inundated area due to coarse pixel size of 30 m; b) precisely inundated area due to dense pixel size of 0.1 m; c) cross-sectional geometric view for the coarse DEM; d) cross-sectional geometric view for the dense DEM; e) trend of changing flooded area with respect to the flood depth for the coarse DEM; f) trend of changing flooded area with respect to the flood depth for the dense DEM.

에서는 반올림되어 3 m에 위치해있는 것으로 나타나
게 되고 HEC-RAS와 같은 고정밀도의 1차원 수치모
형을 통해 산출된 홍수위의 결과가 2.8 m라면 실제 침

수되어야 할 건물들이 침수되지 않아 범람지역을 Fig.
3a와 같이 실제 범람지역보다 과소산정 하게 된다. 반
대로 건물들의 위치가 2.3 m라면 정수형 DEM에서는

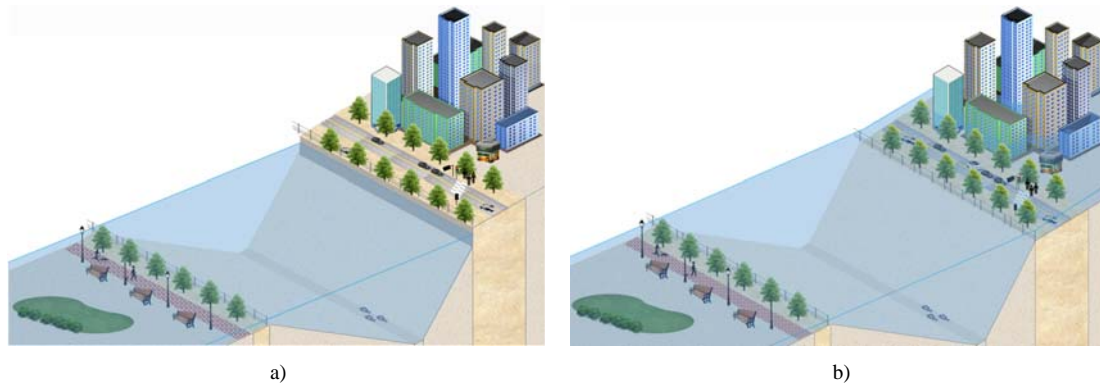


Fig. 3. Schematic description of inappropriate flooded area due to vertical margin of simulated flood height and digital elevation model.

반올림되어 2 m에 위치하게 되며 HEC-RAS로부터 산출된 2.8 m의 동일한 홍수위와 비교했을 때 건물들이 실제보다 과다침수 되어 Fig. 3b와 같이 범람지역을 과다산정 하게 된다. 이와 같이 DEM의 정밀도가 홍수범람지도 작성의 정확도에 크게 영향을 줄 수 있기 때문에 가능한 고 정밀도의 DEM을 활용한 홍수범람지도 작성이 필요하다.

3. DEM 개선 절차

홍수범람지도 제작에 관한 지침(Ministry of Land, infrastructure, and Transport, 2008)에서는 홍수범람지도를 제작하기 위해 활용되는 지형자료(DEM)는 1/1,000 수치지도 수준의 정확도를 가지고, 가급적 지형이 정확하게 반영된 최신 자료를 활용해야 된다고 명시하고 있다. 그러나, 중소하천의 경우 적용범위가 매우 넓고 작은 소유역으로 나뉘어져 있어 정밀도 높은 DEM을 확보하는 것이 현실적으로 매우 어렵다. 따라서 실무에서는 중소하천의 홍수범람지도 작성에 있어 정밀도가 낮은 DEM을 이용하고 있다(KICT, 2014). 이에 본 연구에서는 중소하천 홍수범람지도 작성을 위해 국토공간영상정보서비스 등에서 제공하는 30×30 m 격자 크기의 저해상도 DEM이 주어졌다고 가정하고, 하천정비기본계획 시 작성되는 1/1,000 수치지도의 등고선, 측량 표고점, 하천횡단 실측점 및 통합기준점 등을 합성하여 높은 해상도로 재보간하여 하천 부근 지역의 고해상도 DEM을 제작하는 방안을

제시하고자 한다(Fig. 4). 우선 기존 저해상도 DEM에 측량성과 점들의 합성을 위해 ArcGIS프로그램의 Create Terrain 방법을 활용하였다. Create Terrain 방법은 공간보간법 중 하나로 지형측량, 현황측량 자료, 하천기본계획의 측량성과 합성 후 재보간하는 방법이다. 보간법으로 역거리가중법(Inversed Distance Weighted Method)이 사용되었고, 보간 시 신규 생성 DEM의 격자 크기를 지정할 수 있도록 하였다.

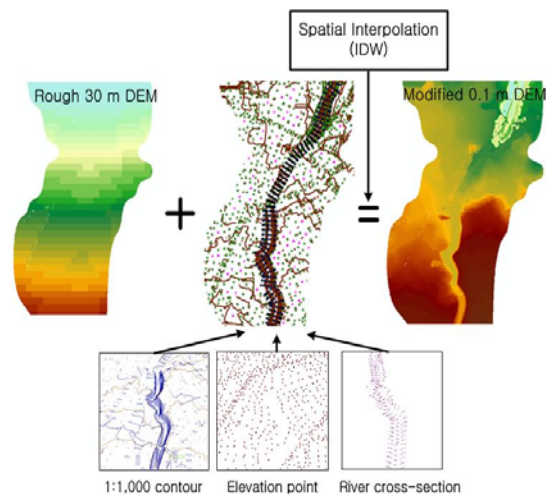


Fig. 4. A procedure for modifying relatively rough DEM to spatially detailed and accurate DEM in addition of 1:1,000 contour, elevation reference points and river cross-section, where a specified spatial interpolation technique was applied.

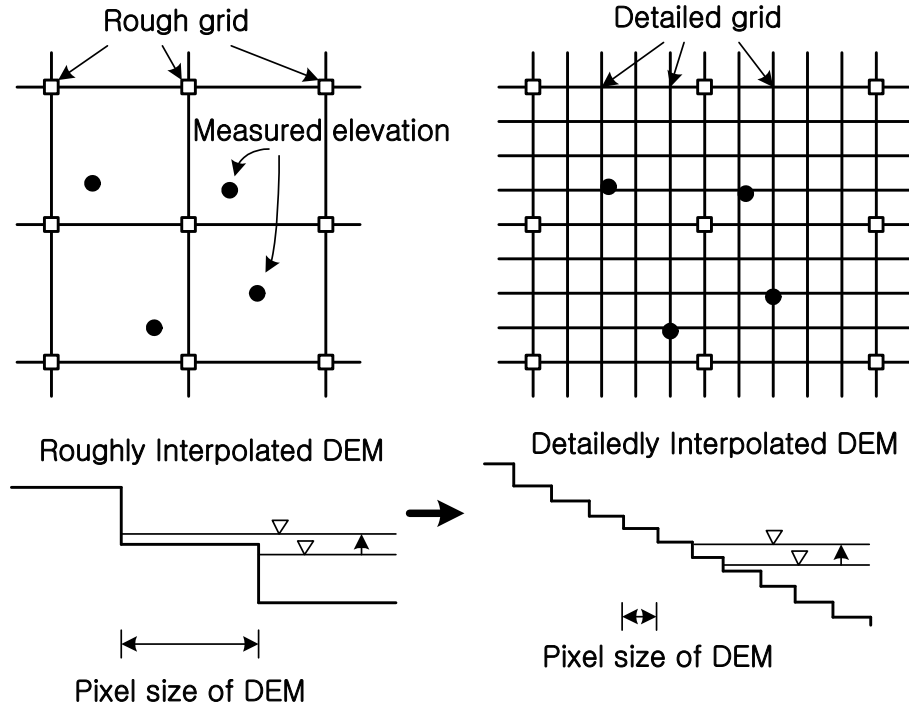


Fig. 5. Representation of a terrain for a given spatial interpolation for different grid size.

역거리가중법은 보간 하고자 하는 위치의 값을 표본자료간의 가중평균으로 나타낼 수 있다는 가정을 기반으로 개발된 기법이다. 일반적으로 역거리가중법은 보간 하고자 하는 위치의 값을 보간 하기 위해서 표본자료 수집 시에 등방적 참조범위인 원을 사용하며, 고정된 범위(Radius) 또는 점의 개수를 설정하여 참조 범위를 설정하고 가중치 산정을 위하여 표본자료와 보간 하고자 하는 위치간의 거리에 대한 함수로 표현된다(Goff and Nordfjord, 2004). 통용적으로 사용되는 가중치함수는 Eqs. 1a와 같이 거리 제곱의 역수를 사용하며, 역거리가중법에서 사용하는 보간 하고자 하는 위치의 값을 산정하는 방법은 Eqs. 1b로 표현하였다.

$$\lambda_i = \frac{1}{\sum_{i=1}^N d_i^p} \quad \text{Eqs (1a)}$$

$$Z^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z_i \quad \text{Eqs (1b)}$$

여기서 는 가중치, 는 표본자료와 보간하고자 하는 위치간의 거리, 은 표본자료의 개수, 는 가중치 변수, 는 보간하고자 하는 위치의 값, 는 가중치, 는 표본자료의 값이다.

역거리가중법에서 공간격자를 조밀하게 지정할 경우 (예: 0.1 m), Fig. 5와 같이 좌측의 큰 격자로 표출한 경우와 대비하여 경사면이 기울기에 따라 상세하게 표현된다. 예를 들어 상세화된 사면으로 공간보간할 경우, 격자의 경계면에서 약간의 홍수위의 상승에도 홍수범람구역이 급속히 넓어지는 현상을 방지할 수 있는 효과가 있다. 따라서, 상세화된 DEM은 기존 중소하천과 같이 하천폭과 격자의 크기비가 큰 경우 홍수범람면적의 홍수위 변화에 따른 변화를 정교하게 묘사할 수 있다. 작은 격자로의 보간은 DEM 정보 자체의 품질을 향상시키지 않으나 큰 격자 사이의 단차를 부드럽게 연결하는 역할을 하여 홍수범람지도 산정에 유리하다.

4. 중소하천 DEM 개선 사례

중소하천 주변 지형(DEM)의 정확도는 홍수범람구역 결정을 데 영향을 준다. 따라서, 추가 측량성과를 사용하고, 상세화 격자로 재보간 과정을 거쳐 도출된 DEM이 일반적으로 확보할 수 있는 해상도가 낮은 DEM에 비해 홍수범람이 발생할 수 있는 하도 주변을 적절히 표출하는 지를 확인할 필요가 있다. 본 연구에서는 중소하천이 포함된 대상구역으로 제주시 도심을 통과하는 한천 유역 중 하류부를 선택하여 DEM을 개선시켰고 기존 DEM에 비해 하천 주변 지형의 개선 여부를 평가하였다. Fig. 6은 한천 유역을 나타내는데 한천은 한라산 EL.1,950 m 고지에서 발원하여 제주시 용담동 해안으로 유출하며 유역의 면적은 37.39 km²이며 유하거리는 11.5 km이다. 장축인 동서 방향은 매우 완만한 사면으로 3~5°의 경사를 이루며 단축인 남북방향은 5~7°의 급경사로 이루어져 있다. 하천의 제방은 대부분 자연제방의 형태를 나타내고 있으나 하류의 주거지와 인접된 구간에서는 옹벽의 형태가 일부 나타나기도 한다(Lee, 2012).

본 연구에서는 하천기본계획 등 추가적인 측량 자료들을 이용하여(Fig. 4 참조) 측량점과 등고선 및 하천 횡단의 좌표들을 기존 30 m DEM과 결합하여 보간하였다. 보간 시, 공간해상도는 임의적으로 조정할 수 있으며 본 연구에서는 Fig. 7b와 같이 제내지와 제외지의 DEM 정밀도를 0.1 m까지 상세화 하고자 하였다. 상세화된 DEM은 하도 형상과 주변 형상이 추가적인 측량성과가 반영되어 상세화되기 전 DEM에

비해 지형의 형상을 적절히 묘사할 수 있다고 볼 수 있다. 이에 비해, Fig. 7a는 30 m 공간해상도로 제공되는 DEM으로 중소하천과 같이 좁은 영역의 경우 격자가 매우 크게 나타나 홍수범람지도 작성 결과가 적절치 못할 것으로 예상된다.

홍수범람은 하도 주변에 주로 발생하므로 상세화된 DEM의 성과가 하도 주변을 물리적으로 적절히 묘사하는 지를 확인할 필요가 있다. Fig. 8은 상세화되기 전·후의 DEM을 바탕으로 하도 주변 지형의 형상을 비교하여 나타내고 있는데, 하도 중 임의의 단면 A-A, B-B, C-C를 그림과 같이 선택하여 횡단면도를 상세화 전, 후 DEM을 활용하여 각각 도시하였다. 그 결과, 공간해상도가 낮은 DEM의 경우, 횡단면도가 하도 주변의 지형을 적절하게 나타내지 못하고 평평한 형상을 보여 약간의 범람에도 전 구역이 범람되는 오차를 유발할 수 있다. 이 경우, 상당한 수준의 홍수범람지도 불확도를 내포시킬 수 있음을 알 수 있다. 그리고, 30×30 m DEM은 전반적으로 하도가 나타나지 않은 평탄한 지형으로 묘사하기 때문에 실제 하도 좌우 지형의 전반적인 높이가 적절하게 표현되지 않았음을 알 수 있다. 이에 반해 개선된 단면은 하천 형상을 구현하며 하도 좌우 표고의 변화를 실측값과 비교했을 때 적절하게 나타내고 있다.

5. 중소하천 홍수범람지도 개선 사례

DEM의 정확도는 홍수 범람 지역을 표출함에 있어 중요한 역할을 한다(Kim et al., 2012). 중소하천의 경우,



Fig. 6. Han stream basin where the modified DEM was verified to demonstrate the enhancement for mapping flood inundation.

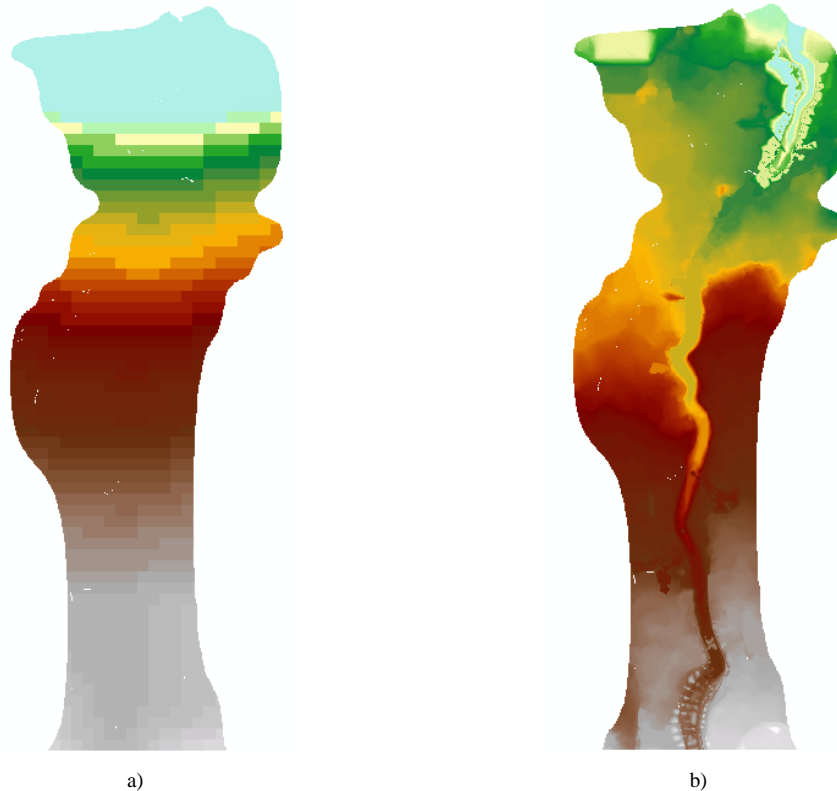


Fig. 7. Comparison of DEMs before and after modification in the downstream area of Han stream watershed: a) 30×30 m pixel size of original DEM before modification; b) 0.1×0.1 m pixel size of modified DEM.

위에서 언급하였듯이 대하천에 비해 범람의 규모가 상대적으로 작고 지형의 정밀도에 따라 범람 구역이 민감하게 변화할 수 있다. 따라서, 개선된 DEM을 이용한 중소하천의 홍수범람지도 작성의 적용성을 검토하기 위해 실제 침수흔적도와 비교해 볼 필요가 있다. 본 연구에서 지정한 제주 한천 유역에서의 대표적인 홍수범람은 2007년 태풍 나리로 인해 발생하였다. 특히, 태풍 나리 내습 시 제주시에 위치한 한천 하류에 발생한 범람은 많은 침수피해를 발생시켰다(Fig. 9a). Fig. 9b는 태풍 나리 시 기록된 침수흔적도이다. 홍수범람지도 작성을 위한 홍수위 모의를 위해 HEC-RAS 모형을 적용하였고, 모의 구역은 홍수피해가 집중적으로 발생한 한천 하류로 국한하였으며(Fig. 6), 홍수량은 태풍 나리 시 실제 관측된 침투홍수량인 566 m³/s를 활용하였다.

Fig. 10은 Fig. 9c에서 제시된 HEC-RAS 모의결과를 기반으로 보정 전, 후의 DEM을 각각 사용하여 홍수범람지도를 작성한 결과를 나타낸다. Fig. 10a와 같이 추가 측량점으로 보정되지 못한 30×30 m DEM을 사용하여 홍수범람지도를 작성한 결과는 한천과 같은 중소하천 구역에서는 실제 홍수범람 양상을 적절히 모의하지 못함을 알 수 있다. 또한 Fig. 10b와 같이, 하천기본계획의 추가 측량점으로 보정하였으나 보간 시 30 m의 격자크기를 유지할 경우, Fig. 10a에 비해 범람 구역이 일부 개선되었으나, Fig. 2와 Fig. 5에서 제시된 바와 같이 중소하천 유역의 상세한 지형이 평균되어 홍수범람지도 작성에 오차를 수반할 수 있음을 알 수 있다. 이에 비해, Fig. 10c에 나타난 바와 같이 추가 측량자료를 기반으로 0.1 m까지 조밀하게 보간된 DEM을 사용하였을 경우, 실제 태풍 나리 범람

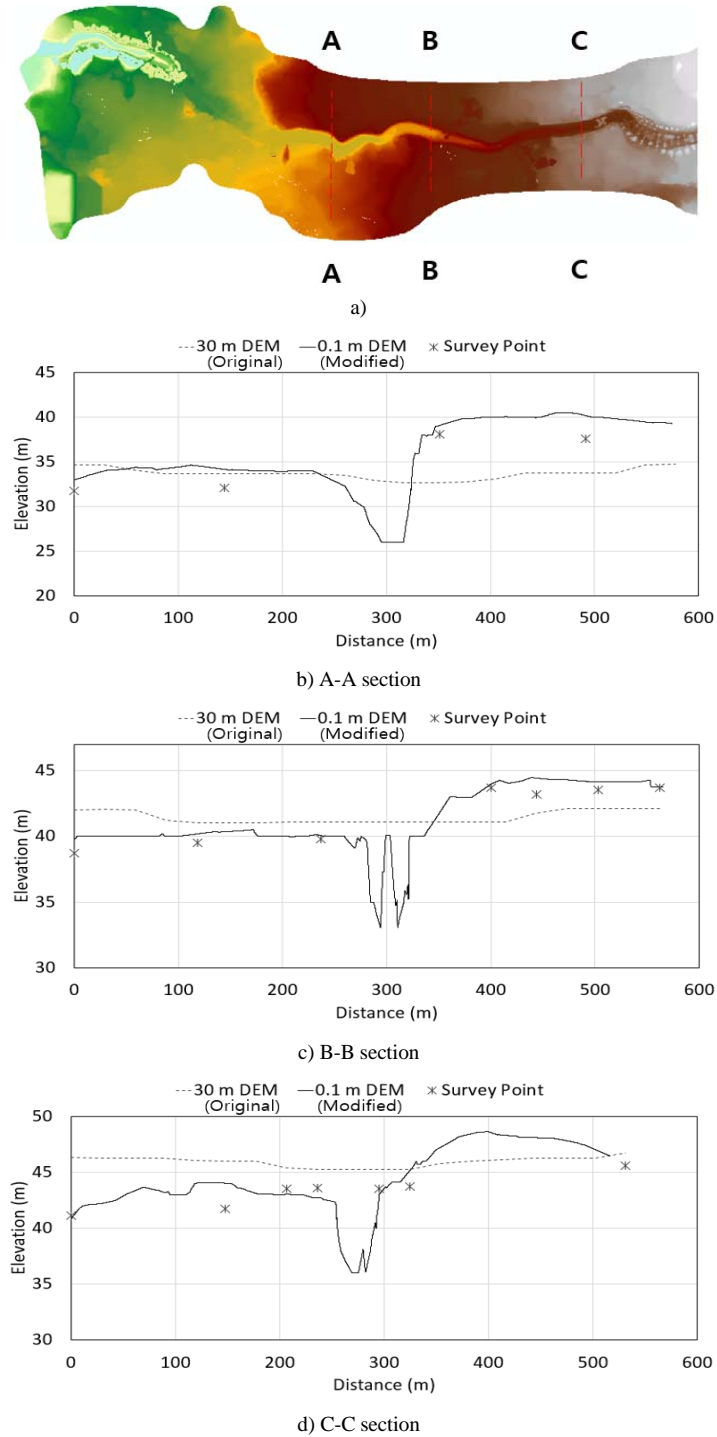


Fig. 8. Profile comparison at 3 different sections, which were originated from DEMs before and after modification.

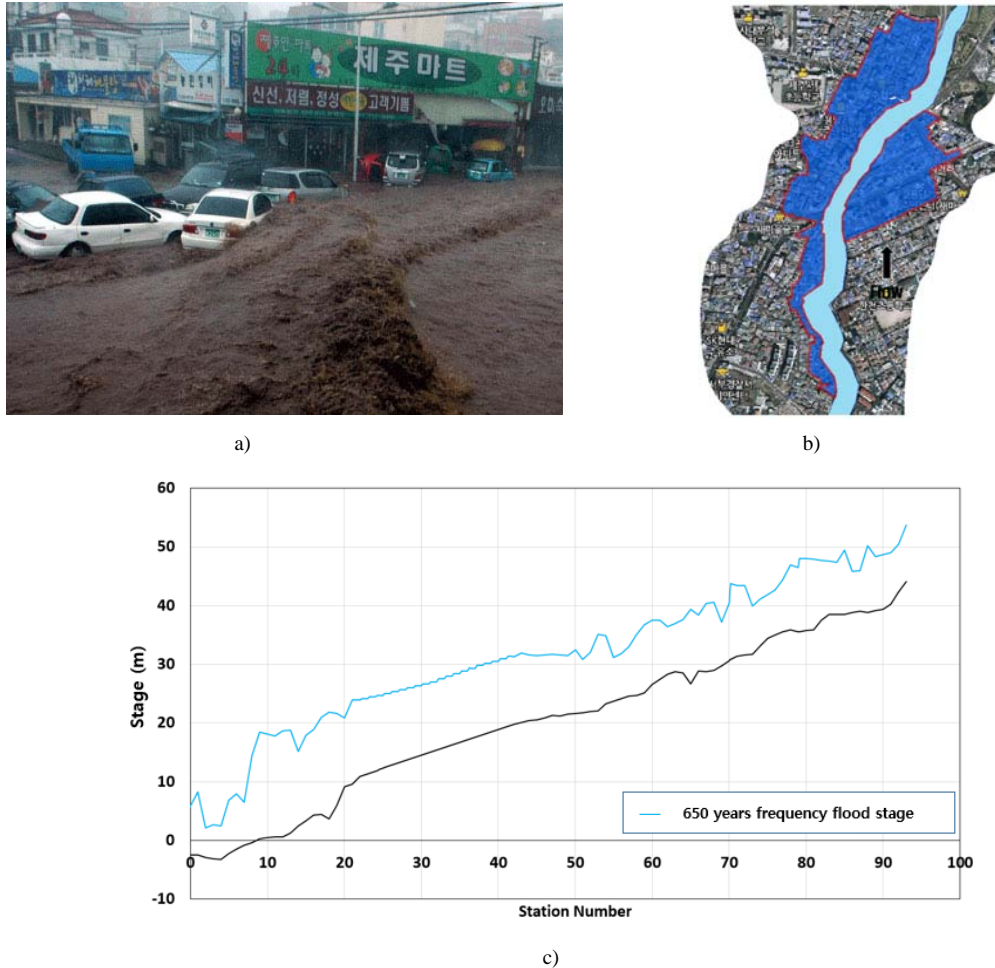


Fig. 9. Flood history map in Han stream basin during typhoon Nari, 2007: a) a field snapshot for inundated stream during flood event; b) flood history map driven by typhoon Nari; c) simulated longitudinal water surface profile using HEC-RAS.

흔적도와 상당히 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 중소하천 유역의 홍수범람지도 작성 시 기존 일반적으로 제공되는 30×30 m 격자인 DEM은 홍수가 발생하는 하천 주변의 지형을 정확하게 제공하지 못해 상당한 오차를 발생시켜 중소하천 홍수범람지도 작성에 적절치 않음을 알 수 있다. 또한, 비록 추가 측량점을 사용하여 하천 주변의 지형을 반영하였다고 해도 공간보간 시 격자의 크기를 30 m로 유지했을 경우 홍수범람지도 작성에 오차가 수반됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 중소하천 홍수범람지도 작성 시 하천기

본계획 등에 의해 제공되는 추가 측량점을 활용하여 DEM을 개선하고 공간보간 시 격자의 크기를 중소하천의 규모를 반영하여 가능하면 작게 산정하는 것이 홍수범람지도의 정확도를 높일 수 있다는 점을 시사한다.

6. 결론 및 향후 과제

본 논문을 통해 분석된 결과는 중소하천의 홍수범람지도 작성 시 다음과 같은 시사점을 제공한다. 첫째,

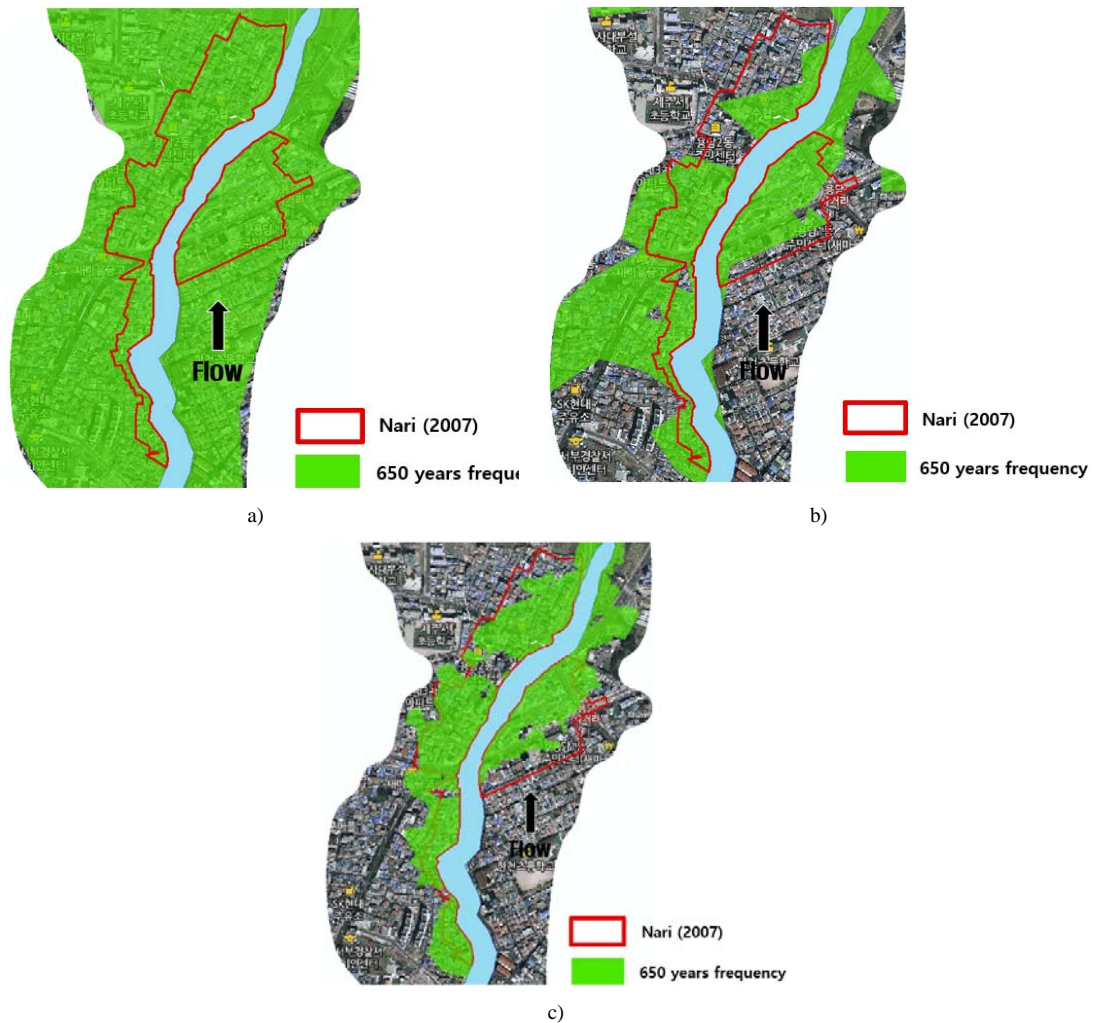


Fig. 10. Flood inundation maps for different DEM in Han stream watershed, which were compared with flood history map during Typhoon Nari: a) 30 m spatial resolution of coarse DEM without modification; b) 30 m spatial resolution of coarse DEM with modification; c) 0.1 m spatial resolution of detailed DEM with modification.

중소하천의 홍수범람지도 작성 시 정밀한 DEM 확보가 어렵다는 이유로 대부분 검증되지 않고 범위가 매우 넓은 국가하천에 적용되고 있는 저해상도의 DEM을 일률적으로 적용하는 경우가 많다. 그러나, 중소하천 부근은 저해상도 DEM의 격자의 크기(예: 30 m)에 비해 매우 협소하고 대다수 하천단면에 대한 정보를 누락하거나 정밀하게 포함하지 않아 홍수범람지도 작성 시 상당한 오차를 수반할 수 있다. 둘째, 하천기본계획 등으로 하천단면과 주변의 측량성고가 이미

존재하는 바 기존 저해상도 DEM을 개선할 여지가 있다. 셋째, GIS를 통해 추가 측량 성과를 활용하여 기존 저해상도 DEM을 개선하기 위해 공간보간 할 경우, DEM을 고해상도(예: 0.1 m)로 보간하여 협소한 하천 주변의 지형이 Fig. 5에 제시된 바와 같이 점차적으로 변화할 수 있게 만들어 주는 것이 유리하다고 할 수 있다. 넷째, 고해상도로 DEM을 개선할 경우, 중소하천의 경우에도 홍수범람지도 오차를 상당부분 저감할 수 있다.

본 논문의 결과는 기존 침수흔적도와 비교해 보았을 때 중소하천 홍수범람지도를 비교적 성공적으로 구현해 낼 수 있음을 알 수 있다. 그러나, 다음과 같은 일부 한계도 존재한다. 첫째, 본 논문에서 제시하는 30 m DEM은 최근 LiDAR 측량 기법 등을 활용해 전 국가적으로 DEM의 해상도를 높이는 작업이 진행됨에 따라 개선될 수 있으므로 30 m 격자크기는 저해상도 DEM을 대표하는 의미로 사용되었고, 이 경우 홍수범람지도의 정확성이 실제보다 낮게 평가될 수 있을 가능성이 있다. 둘째, 역거리가중법을 통한 공간보간은 본 논문에서 신규로 제시하는 것이 아닌 GIS에서 일반적으로 사용되는 기법이다. 다만, 본 논문에서 강조하는 점은 일반적인 역거리가중법을 사용하더라도 중소하천용 홍수범람지도 작성을 위해서 가능하면 작은 격자크기로 보간하는 것이 유리하다는 점을 실제 사례를 통해 제시하려고 하였다. 따라서, 0.1 m 격자 크기는 매우 상세한 DEM을 대표하는 값으로 반드시 0.1 m일 필요는 없고 지역의 지형 특성에 맞춰 변경할 수 있다. 셋째, 제주 한천 지역의 사례를 볼 때 수정 후 상세화된 DEM을 사용한 홍수범람지도가 실제 범람구역과 비교하여 상대적으로 정확하게 나타났다. 그러나, 실제 침수흔적도는 하천범람 뿐만 아니라 도심지 우수관의 배수계통 문제와 상류로부터 내려온 잡목 등에 의해 발생 문제로 인한 침수발생도 포함되어 있기 때문에 모의를 통한 실제 범람구역과 일치하는 것은 불가능하고 중소하천 지역의 특성이 상이한 지역이 많으므로 반드시 개선된다고 보기에는 힘들 수 있으므로 추후 보다 많은 사례 분석을 통한 검증이 필요하다고 하겠다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술지역특성화사업의 연구비 지원(16RDRP-B076272-03)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Choi, C., Choi, Y., Kim, K., 2013, Analysis of flood inundation using LiDAR and LISFLOOD model, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 16(4), 1-15.
- Goff, J. A., Nordfjord, S., 2004, Interpolation of fluvial morphology using channel oriented coordinate transformation: A case study from the New Jersey shelf, *Mathematical Geology*, 36(6), 643-658.
- Hong, S., Sim, M., 2009, HEC-Geo RAS also flood flooding using the create practical application method, *Water for Future*.
- Jung, Y., Kim, D., Kim, D., Kim, M., Lee, S., 2014, Simplified flood inundation mapping based on flood elevation-Discharge rating curves using satellite images in gauged watersheds, *Water*, 6(5), 1280-1299.
- Jung, Y., Yeo, K., Kim, S., Lee, S., 2013, The effect of uncertainty in roughness and discharge on flood inundation mapping, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 33(3), 937-945.
- Kim, K., Shin, H., Jung, S., Kim, J., 2012, Comparative study on flood inundation according to river terrain modification, *Journal of KWRA Conference*, 251-255.
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT), 2014, Development of flood hazard mapping method for local streams.
- Lee, J., 2014, The Case study for prevention of inundation on small and mid-sized stream, *Journal of the Korean Association of Professional Geographers*, 48(2), 177-202.
- Lee, J., 2012, Estimation of roughness coefficient using a representative grain diameter for han stream in Jeju Island, Jeju National University Graduate school.
- Ministry of Land, Infrastructure, and Transport (MOLIT), 2008, Guide for Producing the Flood Hazard Map.
- Ministry of Public Safety and Security (MPSS), 2015, Guideline for Mapping Disaster Map.
- National Geographic Information Institute (NGII), 2012, Offer Free Map Data (DEM).
- Park, K., Kim, S., 2011, A study of make inundation map using satellite photograph at urban river, *Journal of the Environmental Science International*, 20(2), 199-205.