

지형학적 및 수문학적 방법에 의한 만경강 홍수터 획정 방법 비교

A Comparison of Geomorphological and Hydrological Methods for Delimitation of Flood Plain in the Mankyung River, Korea

김지성 · 이찬주* · 김주훈 · 최천규 · 김규호

한국건설기술연구원 수자원하천연구소

Ji-Sung Kim, Chan-Joo Lee*, Joo-Hun Kim, Cheonkyu Choi and Kyu-Ho Kim

Department of Hydro Science and Engineering, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 411-712, Korea

Received 19 May 2015, revised 8 June 2015, accepted 23 June 2015, published online 30 June 2015

ABSTRACT: River areas include channels, floodplains and all the areas affected by physical and ecological processes in river systems. It is noticeably different from present riparian zone which is bounded by dykes. In this study, two methods for delineation of a floodplain are proposed, which are used for evaluation of the function of a river. One of them is a geomorphology-based technique and the other is hydrology-based inundation analysis. For the Mankyung River, these two methods are applied to delineate the floodplain area. Areas delineated with both methods are mutually compared. The results show that the geomorphology-based method is suitable for the delineation of a valley bottom, including the floodplain in a broader sense, which is unlike an inundated area reflecting contemporary hydrologic conditions. Compared with other flood frequency areas, a 100-year flood inundation area was found reasonable to represent the spatial extent of a floodplain without regard to the longitudinal location along a river. However, it is necessary in certain rivers reach where the division of a channel exists to compare a geomorphological analysis on a valley bottom with an inundation area of different frequencies.

KEYWORDS: Floodplain, HEC-RAS, LISFLOOD, Multi-resolution valley bottom flatness

요 약: 하천공간이란 하천시스템과 관련된 물리적·생태적 프로세스에 영향을 받는 홍수터, 하도를 모두 포함하는 공간을 의미하므로, 제방에 의해 인위적으로 차단된 현재의 하천구역과는 분명히 구분된다. 본 연구에서는 하천가능 평가를 위한 공간경계를 결정하기 위하여 홍수터 공간을 획정하는 방안을 제시하고자 한다. 이를 위하여, 지형분석 방법과 범람분석 방법을 이용하였고, 각 방법으로 산정된 만경강 홍수터 공간을 비교, 검토하였다. 분석결과, 지형분석은 곡저의 추출에 적합하며 현재의 수문지형조건을 반영하는 범람공간과는 차이가 있음을 확인하였다. 또한 빈도별 범람면적을 비교함으로써, 하천 상류 혹은 하류 구간의 구분 없이, 100년 빈도 범람지역을 하천공간으로 획정하는 것이 타당할 것으로 판단되었다. 그러나, 하도의 분기가 발생하는 일부 구간에서는 지형학적 곡저 분석 결과와 다양한 빈도의 범람해석 결과와의 비교가 필요하다.

핵심어: 홍수터, HEC-RAS, LISFLOOD, 다중해상도곡저평탄지수

*Corresponding author: c0gnitum@kict.re.kr

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. 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.

1. 서론

하천 홍수터는 지표 및 지하로부터 끊임없이 물과 영양분, 유기물 등을 공급받는다. 수문학적 연결성이 확보된 홍수터는 생산성과 생물다양성이 가장 높은 생태계 중의 하나이며, 영양소, 퇴적물 및 유기물의 재분배와 순환, 수질 유지, 다양한 종의 생물에게 서식지와 먹이를 공급하는 등 중요한 생태계 기능을 제공한다 (Junk et al. 1989). 인간은 수 천년 전부터 이러한 홍수터의 다양한 생물자원을 활용하였다. 그러나 농업생산성 강화와 산업화에 따른 하천변 토지 이용 고도화를 위해서는 제방을 축조하여 홍수터에 발생하던 주기적인 범람과 간헐적인 침수피해로부터 안전해질 필요가 있었다. 산업화된 사회에서 대다수의 대규모 하천에는 준설, 직강화 및 제방축조 등 급격한 지형 변화가 발생하였고, 제내지 홍수터 대부분은 농경지 또는 주거지 등으로 전환되었으며, 일부 남아있는 구하도 또한 하천으로부터 격리되어 하천과의 연결성이 단절되었다. 홍수터가 하천으로부터 단절되면 생물서식지 다양성이 감소되어 홍수터뿐만 아니라 하천 본류의 생물다양성 또한 감소하게 된다 (Dynesius and Nilsson 1994, Kim et al. 2015).

최근 홍수터 생태계에 대한 과학적 이해가 축적됨에 따라 홍수터와 인간의 관계가 재평가되고 있다. 농산물 및 용수 공급 등 홍수터가 인간에게 주는 실질적인 혜택에 집중되던 기존 평가에서 벗어나, 홍수 조절과 레크리에이션과 같은 조금은 덜 실질적인 가치 그리고 생물서식지 및 영양 순환과 같은 홍수터 본연의 기능에 대한 평가가 증가되고 있는 것이다 (Tietenberg 1996, Cheng et al. 2001). 이러한 가치 평가의 전환은 독일, 덴마크, 네덜란드, 영국 등 유럽 각국과 미국 등에서 제방에 의해 제약된 제외지의 생태하천 조성에 의한 소극적 하천복원에서 벗어나 하천공간 복원의 개념과 실천을 이끌고 있다 (Warner et al. 2013).

하천공간이란 평상시 흐름이 있는 저수로뿐만 아니라, 하천에 유기물을 공급하는 물질기여지역 (material contribution area), 하천의 역동성이 발현되는 저수로 사행대 (meandering belt), 홍수시 범람되는 홍수터 (floodplain), 일시적이거나 항상 존재하는 웅덩이 또는 하천배후습지 (wetland), 비교적 큰 홍수에서

일시적으로 침수되는 하안단구 (river terrace) 등 하천흐름에 영향을 받는 공간 전반을 의미한다 (The Nature Conservancy 2008, Shin et al. 2014). 제방에 의해 단절되어 홍수터 본연의 기능이 심각히 퇴화된 현재의 하천은 자연적인 하천공간이 그대로 유지되는 경우가 거의 없으며, 대다수 하천의 경우 자연스러운 하천조건을 참고하기 위한 일부 구간조차 부족한 실정이다 (Dynesius and Nilsson 1994).

고유의 하천특성 복원을 염두에 두고 하천의 가치를 평가하기 위해서는 개수 전의 하천공간과 현재 제방으로 단절된 하천공간과의 기능 비교가 필요하다. 세부적으로 지표수 또는 지하수의 수문학적 연결성 평가를 기반으로 한 홍수터 구조 (structure)와 동적 프로세스 (dynamic process)에 대한 평가, 복원에 따른 직·간접적인 편익을 반영하는 사용가치와 홍수터 종다양성 등의 비사용가치를 분석하는 경제학적 가치평가가 요구된다 (Hohensinner et al. 2008, Cheng et al. 2001). 이 때 홍수터 공간의 획정은 현재의 하천과 개수 전 하천의 비교를 수행함에 있어 공간적 경계를 결정하는 기준이 될 것이다. 제방으로 인하여 제내지와 제외지가 구분되고, 준설과 직강화, 성토로 제외지의 지형이 변화되었으며, 제내지 토지이용 상황 역시 변화된 현재 시점에서 고유의 홍수터 공간을 획정한다는 것은 다소 모호할 수 있다. 자연스러운 홍수터 형성과정 그리고 그 구성요소를 공간적-시간적 계층구조로 나누어보면, 매년 범람의 영향을 받는 홍수터에서부터 지각변동의 영향을 받은 홍수터까지 시간적-공간적 범위가 서로 다를 수 있다 (WMO 2006). 즉, 생태학, 수문학, 지형학 등 각 분야에서 주로 언급하는 홍수터의 영역이 서로 달라, 기존 연구를 참고하여 홍수터를 획정하고자 할 때 주의가 요구된다.

본 연구는 제방으로 제약된 현재의 하천구역이 치수, 이수, 생태, 문화 등 하천의 다양한 기능을 충분히 고려하여 결정되었을까라는 의문에서 시작되었다. 이를 해결하기 위한 기초 연구로 제방 축조 이전의 홍수터 공간 획정연구를 수행하였고, 구체적으로 지형학적 방법과 수문학적 방법으로 나누어 홍수터 설정을 수행하였으며, 두 방법 모두 분석 수준에 따른 결과를 비교 분석하였다. 마지막으로, 각 방법으로 설정된 공간을 비교 분석한 결과를 이용하여, 제방

축조 전후 하천기능 평가를 위한 홍수터 공간을 획정할 수 있는 방안을 제시하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 조사 대상 하천

만경강은 고산천, 소양천, 전주천 등의 지류와 합류하여 서해로 유입되는 하천으로써 유역면적은 1,527.1 km², 유로연장은 77.4 km이다. 만경강은 갑조하천으로 과거에는 만조 시 전주천, 소양천이 합류하는 지점(하구에서 약 48 km 지점)까지 조석의 영향을 받아 민물인 지류하천 중심의 물이용이 활발하였다. 1924년에서 1940년까지는 홍수 및 범람을 방지하고, 배수를 원활하게 하며 배후습지를 농업용지로 확보하기 위해 만경강 본류와 지류를 대상으로 하천개수 공사가 실시되었다 (MLTMA 2012). 그 이후로 만경강 하류의 하천공간에는 대규모 농지정리, 구하도 형성, 도시 확대, 행정구역 변화 등 토지이용상의 많은 변화가 발생하였다 (Fig. 1).

2.2 지형학적 방법

지형학적으로 골짜기 (valley)는 그 길이가 폭에 비해 긴 우묵지를 말하며, 하천이 흐르는 골짜기를 하곡 (river valley)이라고 한다. 하곡은 지형학적으로 사면 (hillslope)과 곡저 (valley bottom 또는 valley floor)로 구성되며, 이 둘은 토양, 지형, 지형형성작용이 본질적으로 구별된다 (Flügel 1995, Band 1999). 사면과 곡저는 침식과 퇴적 지역을 반영하므로 (Moore and Wilson 1992), 곡저에 대한 지도화는 지형학적, 수문학적인 의의가 있다. 곡저는 사행대와 홍수터, 하안단구를 포함하므로 사면 하부의 물길기여지역을 제외하면 The Nature Conservancy (2008)가 제시한 하천 하천 공간과 거의 동일하다. 따라서 곡저의 공간 범위를 탐색함으로써 하천 공간을 획정할 수 있겠다. 곡저의 뚜렷한 특성은 주변 사면에 비해 상대적으로 평탄하고 낮다는 점이다. 따라서 등고선으로부터 쉽게 판별될 수 있다 (Gallant and Dowling 2003). 곡저를 탐색하는 기초적인 방법은 등고선을 이용하는 것이다. 본 연구에서는 지형학적인 분석 방법 중

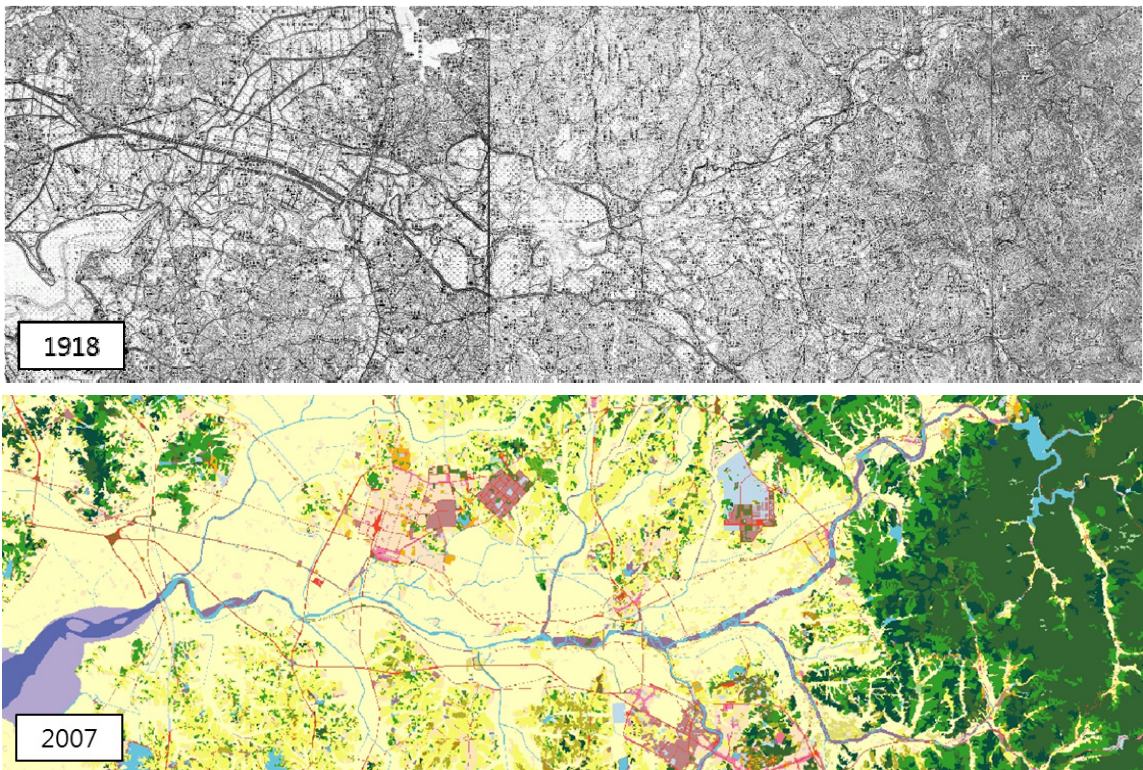


Fig. 1. Topographic map in 1918 and map of land-cover by the Ministry of Environment in 2007.

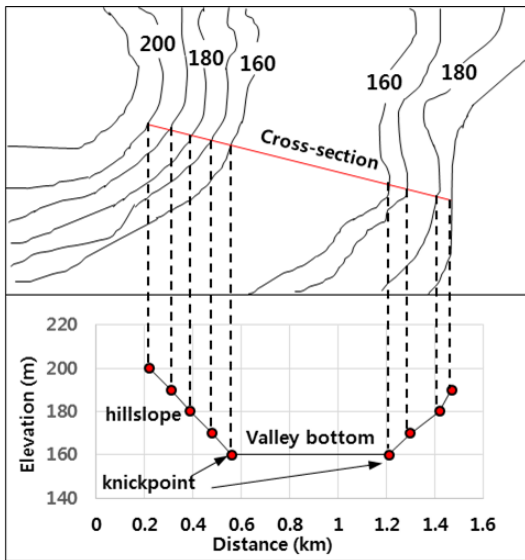


Fig. 2. Schematic illustration of the valley floor delineation based on contours in the topographic map.

에 하나로서 1918년 고지도의 등고선으로부터 곡저를 분석하였다. 사면으로부터 고도가 낮은 지대로 내려가면서 나타나는 등고선의 밀도 변화가 급격하게 발생하는 지점을 경사급변점으로 보고 (Fig. 2), 그 지점들을 연결하는 등고선을 곡저의 외곽 경계로 보았다. 다만, 본류와 합류하는 지류의 평탄지는 본류의 영향이 미칠 것으로 판단되는 범위까지만 곡저에 포함시켜 분석하였다.

1990년대 이후 수치지형분석 기술이 발달하면서 컴퓨터 알고리즘을 이용하여 지형을 분석하는 연구가 많이 수행되었다 (Dikau 1992, Band 1999, Ventura and Irvin 2000, Miliareisis 2001). 그 중에 홍수터의 범위를 확정할 목적으로 여러 연구가 수행되었으나 수문학적인 침수지역 모델링을 수행하지 않으면서 완전히 자동화된 알고리즘으로 곡저를 지도화하는 방법은 드물다. 그 중에 하나는 Gallant and Dowling (2003)이 개발한 다중해상도곡저평탄지수 (MRVBF, Multi-Resolution Valley Bottom Flatness) 기법이다. 이 방법은 세 가지 가정을 기초로 하는데, 첫째, 곡저는 주변보다 낮고 평탄하다는 점, 둘째, 곡저는 다양한 넓이로 나타난다는 것, 셋째, 넓은 곡저는 좁은 곡저에 비해 더 평탄하다는 점 등이다. MRVBF 기법은 수치고도모형 (DEM)을 이용하는데, DEM의 각 셀을 특정한 반경의 동심원 범위에 속한 다른

점들과의 비교한다. 이 때 경사를 분석하여 평탄도 (flatness)를 계산하며, 저도 (lowness)를 계산하기 위해 상대적인 고도 순위를 분석한다. 평탄도는 백분율로 표시된 경사도 (slope)의 역수로서 GIS의 사면 분석에 의해 계산되며, 저도는 특정한 동심원 규모에서 해당 셀의 고도 순위 (ranking)를 백분율로 표시한 것이다. 이 과정은 7단계로 넓어지는 동심원 규모에서 반복 수행되며, 최종적으로 결합되어 하나의 지수로 표현된다. 그 상세한 내용은 Gallant and Dowling (2003)에 기술되어 있다. 본 연구에서는 MRVBF 기법을 적용하여 곡저의 범위를 확정하였다. 자료는 30 m 급 DEM을 이용하였으며, 분석된 결과는 GIS 프로그램을 통해 지도화할 수 있다.

2.3 수문학적 방법

하천공간은 유수에 직간접적인 영향을 받는 공간이다. 평상시는 지하수에 의해 지속적으로 물과 영양분이 공급되며, 홍수기에는 주기적이거나 간헐적인 범람에 의해 크게 영향을 받는다. 미국자연보전협회 (The Nature Conservancy 2008)에서는 하천공간을 약 20~100년 빈도의 홍수가 범람하는 범위에 해당한다고 하였다.

수문학적인 기반 위에서 가장 단순하고 효율적으로 홍수 범람을 분석하는 방법은 1차원 모형을 이용하는 것이다. 그러나 범람 영향을 고려한 공간 설계 및 계획 연구에는 좀더 정밀한 해석이 요구되므로 2차원 이상의 모형이 사용된다.

2.3.1 1차원 범람분석

하천과 홍수터에 대한 1차원 모형은 연속되는 횡단면에 의해 표현되며, 각 횡단면은 하나의 수위 값과 평균유속 값을 갖는다. 이 때, 횡단면 형상, 구조물 등을 제외한 하천 흐름의 주요 특징은 각 횡단면의 조도계수로 결정한다. 홍수범람은 엄밀하게 보면 2차원 또는 3차원의 현상이지만, 단순히 1차원 모형에서 계산된 홍수위를 횡방향으로 확장하고 DEM에 투영하여 보간함으로써 침수범위를 계산할 수 있다. Ervine and Macleod (1999)는 영국의 테임즈 강에 대하여 1차원 St. Venant 방정식을 적용하여 범람을 모의한 바 있으며, Werner (2001)는 1차원 모형으로

계산된 수위를 연장하여 DEM과 교차함으로써 제내지 홍수심과 침수범위를 예측하는 보간법을 사용하였다.

2.3.2 2차원 범람분석

하천과 홍수터 지형은 x, y, z 수치로 표현된다. 각 지점에서 수심방향 평균에 의해 수위와 유속은 하나의 값으로 표현되고, 흐름경로는 지형과 조도에 의해 결정된다. 모형의 효율성 향상을 위하여 일부 모형은 하천구간에서 1차원 해석을 수행하고, 홍수터에서는 2차원 방정식을 적용하기도 한다. 모형의 정확도 및 신뢰도 측면에서 2차원 모의는 FLUMEN (Beffa 2003)처럼 복잡한 수치계산에 의한 모형과 비교적 단순화된 기법을 이용하는 모형으로 구분되는데, Lee et al. (2010)은 낙동강 지류인 남강 백산계 붕괴 모의 결과, 두 모형으로 계산된 최대 범람면적이 거의 동일하게 나타나는 것을 확인하였다. 또한 Horritt and Bates (2001)도 두 유형의 모형을 이용하여 범람해석을 수행한 결과, 모두 타당한 침수면적을 제공함을 확인하였고, 계산시간의 효율성 및 매개변수의 보정 등에 있어 단순화된 격자 (raster) 기반의 모형의 편의성을 강조한 바 있다. 따라서 본 연구에서는 2차원 범람 분석을 위해 단순화된 격자 기반 모형인 LISFLOOD (Bates and De Roo 2000) 모형을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 지형학적 하천공간 획정

사면과 평탄지 사이의 경사급변점을 반영하는 등고선에 의한 간략한 곡저 범위 획정 결과가 Fig. 3에 제시되어 있다. 점선으로 둘러싸인 영역이 곡저이며, 만경강 하류 구간에서는 대부분의 평탄한 지역이 곡저에 해당함을 알 수 있다.

Fig. 3에는 만경강 유역 전체에 대한 MRVBF 기법의 적용 결과가 함께 제시되어 있다. MRVBF는 8등급으로 구별하여 표시하였는데, 지수가 클수록 낮고 평탄한 지형을 의미한다. 4.5 이상의 값을 가지는 경우 경사도가 1% 미만이고 반경 약 4 km 내에서 낮은 지역이므로 비교적 넓은 곡저로 볼 수 있다 (Brooks et al. 2014). 붕동 (Bongdong station) 하류에 해당하는 만경강 본류 구간의 대부분은 MRVBF 4.5 이상으로 만경강 곡저를 나타내며, 전주천 (Jeonjucheon) 합류부 하류에서는 6.5 이상으로 나타나 이 구간이 가장 평탄하고 낮은 지대임을 잘 보여준다. 그리고 MRVBF 4.5 이상 지역은 등고선에 의한 곡저 범위와 비슷함을 알 수 있다.

전주천 하류 구간의 MRVBF 5.5 이상 지대에는 1918년 지형도 (Fig. 1)에 나타난 어지럽게 흩어져 있던 과거의 유로가 모두 포함된다. 이처럼 만경강의 사

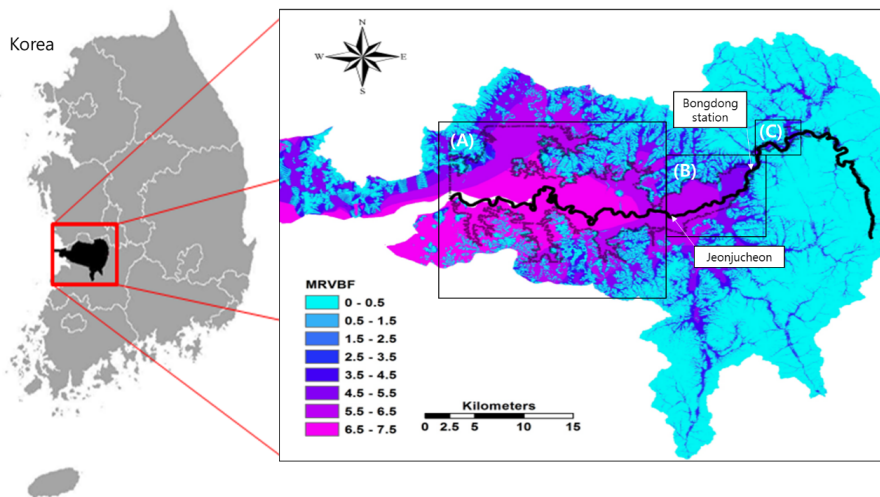


Fig. 3. Valley-bottom calculated using Multi-resolution the valley bottom flatness (MRVBF) scheme in the Mankyung River watershed. The dotted line indicates the minimum contour. The solid box indicates the computation domains using a 2D hydrologic model.

레는 경사와 저도에 의해 지형학적으로 분석된 곡저가 하천공간을 적절하게 대표할 수 있음을 보여준다.

3.2 수문학적 하천공간 분석

3.2.1 1차원 및 2차원 범람분석 결과 비교

하천범람 영향을 받는 하천공간 설정을 위해서는 현재 존재하는 제방을 제거한 무제부 가정이 필요하다. 계획홍수량 규모로 조성된 제방을 제거하지 않을 경우, 빈도별 홍수위는 제방을 넘지 못하게 되며, 결국 제내지 범람은 발생하지 않는다. 따라서 제내지 범람범위를 추정하는 가장 단순한 방법은 하도의 홍수위를 제내지로 연장하는 것이다 (Werner 2001). 그러나 제방이 있는 조건의 홍수위는 무제부 조건의 홍수위보다 높을 것이다. 따라서 범람범위를 과대 추정할 수 있다. 본 연구에서는 1차원 수위 해석을 위하여 만경강 하천기본계획 수립 (MLTMA 2012)에 활용된 HEC-RAS (USACE 2010) 모형과 계획홍수위 산정 조건을 이용하였다. 한편 2차원 분석에는 비교적 수치적으로 단순한 LISFLOOD 모형을 이용하였고, 모의 조건으로 만경강 하천기본계획 수립 (MLTMA 2012)에서 산정된 빈도별 홍수조건을 이용하였다. 이때, 2차원 분석에서는 1차원 분석과 달리 Fig. 4 a와 같이 무제부로 지형을 수정한 후 범람 모의를 수행하였다.

분석 결과, 범람범위는 만경강 개수전 1918년 지

도에서 추출한 하도와 공간적으로 잘 일치하는 것으로 나타나 잘 모의된 것으로 판단된다 (Fig. 4 b).

Fig. 4 a의 임의 세 지점 (Zone-1 - Zone-3)에서 1차원과 2차원 홍수위 해석결과를 비교한 것은 Fig. 5 a와 같으며, 홍수위 연장에 의한 1차원 범람분석과 2차원 범람분석 결과의 비교는 Fig. 5 b와 같다. 세 지점에서 제방을 제거하고 2차원으로 해석한 홍수위가 제방을 제거하지 않고 1차원으로 계산한 현재의 계획홍수위보다 모두 낮음을 확인할 수 있다 (Fig. 5 a). 그러나 1차원 및 2차원 범람면적을 비교해 보면, 1차원 홍수위가 높아 범람범위가 과대추정 되었을 것이라는 예상결과와는 다르게 2차원 범람범위가 더 넓게 나타났다. 이는 1차원 범람분석이 범람과의 유사 특성을 재현할 수 없음을 나타내며, 본 연구의 예처럼 분기 및 합류가 뚜렷한 구간에서는 하천망 (river network)의 구성을 이용한 1차원 분석이 필요함을 알 수 있다.

3.2.2 상·중·하류 구간의 2차원 범람분석 결과 비교

본 연구에서는 만경강 유역을 상류, 중류 및 하류 구간으로 구분하였고, LISFLOOD 모형을 이용한 각 구간의 빈도별 범람해석 결과를 Fig. 6과 같이 나타내었다. 범람해석 결과, 평평한 농경지가 넓게 분포하는 하류 구간에서는 Fig. 6 a와 같이 제내지 상당 부분에 범람이 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 하곡이 좁은 Fig. 6 c의 상류구간에서는 범람면적이 작

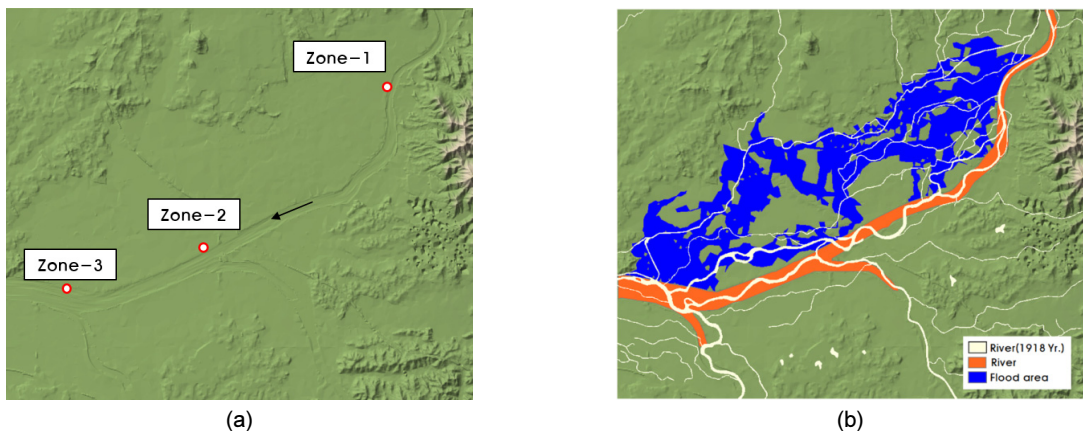


Fig. 4. Topography (a) and the simulation result (b) in a 2D inundation model. (a) The circles indicate the locations where the stage hydrographs using 1D and 2D numerical simulations were compared. (b) The white lines denote where the natural rivers were before the levee-construction. The inundated area calculated by the 2D model coincided with the natural river areas.

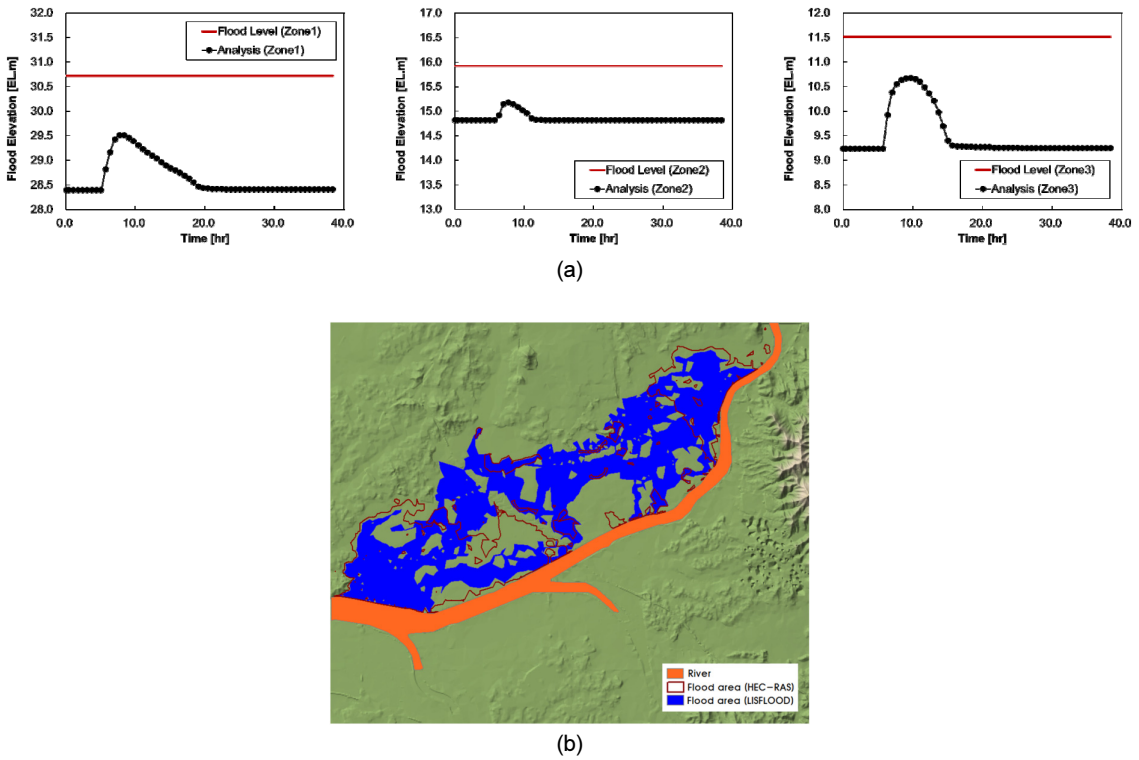


Fig. 5. Flood stages in channel (a) and inundation areas (b) calculated by 1D HEC-RAS and a 2D LISFLOOD model. (a) All stages by the 1D model (stages in confined area by levees) are higher than the ones by the 2D model considered with no levees. (b) The inundation area by the 2D model is larger than the extended area using the 1D flood stage in a reach where the division of a channel occurs.

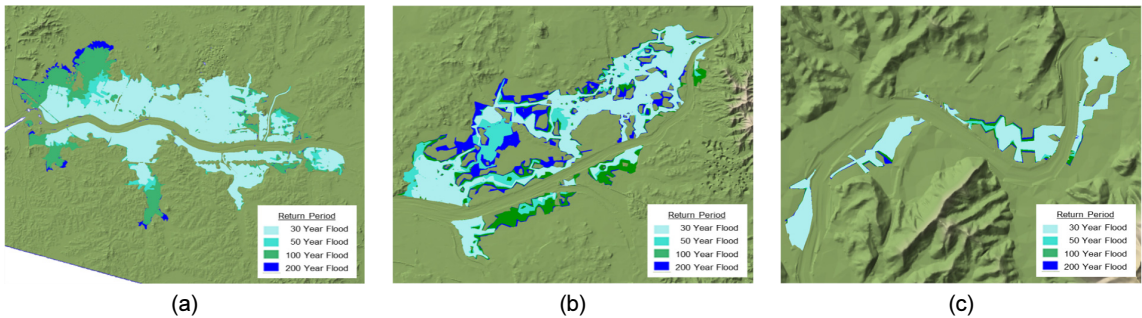


Fig. 6. Results of inundation in each reach (a) lower, (b) middle and (c) upper reach represented in Fig. 3 (not to scale).

고, 빈도가 증가하여도 범람면적이 크게 변하지 않는 것으로 나타났다. 마지막으로 Fig. 6 b의 중류구간에서는 하류와 상류의 범람흐름이 혼합되어 발생하는 것으로 나타났다. 즉, 중류구간의 상류부에서 제내지 지역으로 범람유량이 유입되어 고도가 낮은 하류 방향으로 흐름이 발생하였으며, 이에 따라 제내지의 범람면적이 커지는 것으로 분석되었다.

일반적인 하곡의 형상은 상류는 좁고, 하류로 갈수록 넓어진다. 따라서 하류 구간에서는 100년 빈도부터 범람면적의 변화가 크지 않지만, 상류로 갈수록 그 빈도가 줄어들고 있음을 알 수 있다 (Fig. 7 a). 세 구간의 빈도별 상대 범람면적을 검토하기 위하여, 200년 빈도 범람면적을 기준으로 빈도별 면적비를 비교하였다 (Fig. 7 b). 그 결과, 하곡의 형상이 크게

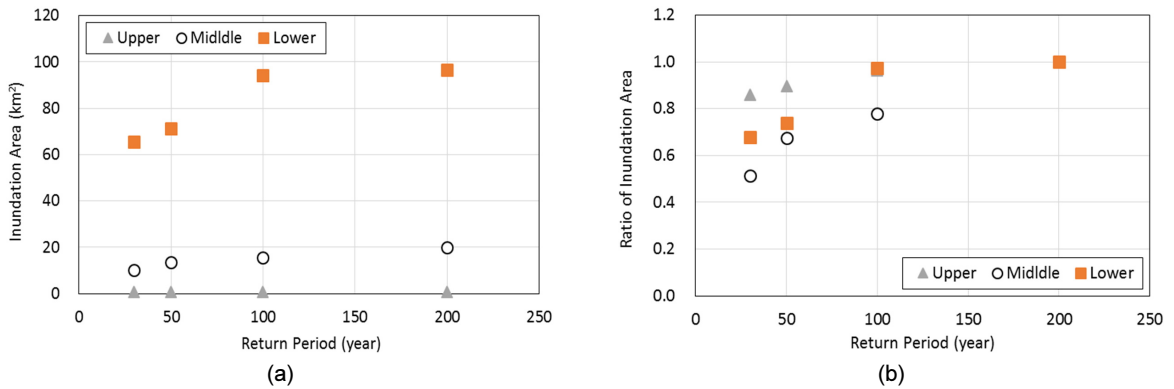


Fig. 7. Comparison of simulation results for each frequency inundation area (a) and the ratio of areas (b). Upper, middle and lower means the reach in Mankyung River in Fig. 3.

Table 1. The inundation areas and ratio of areas with different flood frequencies.

Return Period	Inundation Area (km ²)			Ratio of Area		
	Lower*	Middle**	Upper***	Lower	Middle	Upper
30 years	65.62	10.19	0.74	0.68	0.51	0.86
50 years	71.39	13.45	0.77	0.74	0.68	0.90
100 years	94.13	15.51	0.83	0.97	0.78	0.97
200 years	96.60	19.89	0.86	1.00	1.00	1.00

*Lower reach, **Middle reach, ***Upper reach in Mankyung River in Fig. 3.

다른 상류구간과 하류구간에서 100년 빈도 홍수조건에서 95% 이상의 면적비가 나타남을 확인하였다. 이는 100년 빈도의 범람면적을 하천공간으로 확정하는 것이 타당함을 의미한다. 한편 주 흐름에 분기가 발생하는 중류 구간에서는 상하류 구간과 달리 100년 빈도 범람면적비가 상대적으로 작게 나타날 수 있음을 주의하여야 한다 (Table 1).

4. 결론

본 연구에서는 제방축조 및 하도직강화 이전의 고유 하천공간 확정을 위하여 지형학적 방법과 수문학적 방법을 적용하고, 그 결과를 비교하였다. 지형학적 방법으로 지형도의 등고선을 이용하는 방법과 다중해상도곡저평탄지수 (MRVBF)를 사용하는 방법을 비교하였고, 지형도의 최저등고선이 곡저 (valley bottom)와 근사하게 일치되고 있음을 확인하였다. 또한 지형자료가 DEM으로 구축되어 있다면, GIS를 이용한 자동 연산으로 곡저의 추출이 쉽게 수행될 수 있음을 확인하였다. 엄밀히 말해서 곡저는 지형학적

프로세스에서 유수에 의한 퇴적 지형을 의미한다. 따라서 특정 빈도 홍수에 의한 범람원을 추적하는 수문학적 방법과는 원칙적으로 다르다. 만경강의 경우, 곡저분석 결과는 200년 빈도의 범람면적보다 더욱 크게 나타났다. 한편 수문학적 방법으로는 1차원 및 2차원 범람 분석을 비교하였다. 대부분의 구간에서 하도의 홍수위를 제내지로 연장하는 1차원 범람모의 방법은 최대의 범람면적을 추정하는데 적합한 것으로 판단되었으나, 하도가 분기하여 각 줄기에서의 홍수위가 상이할 수 있는 구간에서는 단일 하도에 의한 1차원 해석이 범람면적을 과소 추정할 수 있음을 확인하였다. 마지막으로, 2차원 분석에 의한 빈도별 범람모의 결과, 현재의 수문조건 그리고 지형조건에서 100년 빈도의 범람면적이 하천공간으로 확정하기에 적정한 것으로 검토되었다. 그러나 경사지에서 평탄지에 변환되면서 하천이 분기될 수 있는 지형조건에서는 빈도별 범람면적의 차이가 크게 발생할 수 있으므로, 곡저분석 결과 (최대 범람면적) 그리고 빈도별 범람모의 결과를 상호 비교하여야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비 지원 (12기술혁신C02)에 의해 수행되었습니다.

References

- Band, L.E. 1999. Spatial hydrography and landforms. In, Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maquire, D.J. and Rhind, D.W. (Eds.), *Geographic Information Systems*. John Wiley, Hoboken, N.J., USA. pp. 527-542.
- Bates, P.D. and De Roo, A.P.J. 2000. A simple raster-based model for flood inundation simulation. *Journal of Hydrology* 236: 54-77.
- Beffa, C. 2003. FLUMEN v1.2 User Manual. <http://www.fluvial.ch/m/FlumenMan.pdf>.
- Brooks, S., Cottingham, P., Butcher, R. and Hale, J. 2014. Murray-Darling Basin Aquatic Ecosystem Classification: Stage 2 Report. Peter Cottingham & Associates Report to the Commonwealth Environmental Water Office and Murray-Darling Basin Authority, Canberra, Australia.
- Cheng, C.W., Gaebel, D.G., Pierre, J.M.S. and Willow, A.J. 2001. A Resting Place for the Ducks: A Multi-disciplinary Analysis of Floodplain Restoration of the Hennepin Levee District, Illinois. A Master's Project, University of Michigan, Ann Arbor, MI, USA.
- Dikau, R. 1992. Aspects of constructing a digital geomorphological base map. *Geologisches Jahrbuch Reihe A* 122: 357-370.
- Dynesius, M. and Nilsson, C. 1994. Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world. *Science* 266: 753-762.
- Ervine, D.A. and Macleod, A.B. 1999. Modelling a river channel with distant floodbanks. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Water, Maritime and Energy* 136: 21-33.
- Flügel, W.-A. 1995. Delineating hydrological response units by geographical information system analyses for regional hydrological modeling using PRMS/MMS in the drainage basin of the River Bröl, Germany. *Hydrological Processes* 9: 423-436.
- Gallant, J.C. and Dowling, T.I. 2003. A multiresolution index of valley bottom flatness for mapping depositional areas. *Water Resources Research* 39: 1347.
- Hohensinner, S., Hermegger, M., Blaschke, A.P., Haberer, C., Haidvogel, G., Hein, T., Jungwirth, M. and Weiß, M. 2008. Type-specific reference conditions of fluvial landscapes: A search in the past by 3D-reconstruction. *Catena* 75: 200-215.
- Horritt, M.S. and Bates, P.D. 2001. Predicting floodplain inundation: raster-based modelling versus the finite-element approach. *Hydrological Processes* 15: 825-842.
- Junk, W.J., Bayley, P.B. and Sparks, R.E. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences* 106: 110-127.
- Kim, S.H., Cheon, H.T. and Cho, K.H. 2015. Fish community structure of the former channel isolated by channelization in the Mangyeong River, Korea: Implications for connectivity restoration. *Ecology and Resilient Infrastructure* 2: 22-32. (in Korean)
- Lee, G.H., Lee, S.S. and Jung, K.S. 2010. Development of a raster-based two-dimensional flood inundation model. *Korean Society of Hazard Mitigation* 10: 155-163. (in Korean)
- Miliareisis, G.C. 2001. Geomorphometric mapping of Zagros Ranges at regional scale. *Computers & Geosciences* 27: 775-786.
- MLTMA. 2012. Schematic Plan for Mankyung-River. Ministry of Land Transport and Maritime Affairs, Iksan, Korea. (in Korean)
- Moore, I.D. and Wilson, J.P. 1992. Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: Simplified method of estimation. *Journal of Soil and Water Conservation* 47: 423-428.
- Shin, H.S., Hong, I., Kim, J.-S. and Kim, K.H. 2014. A study on variation of land-use in river area caused by levee construction. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society* 15: 2419-2427. (in Korean)
- The Nature Conservancy. 2008. *The Active River Area: A Conservation Framework for Protecting Rivers and Streams*. The Nature Conservancy, Boston, MA, USA.
- Tietenberg, T. 1996. *Environmental and Natural Resource Economics*. Harper Collins College Publishers, New York, USA.
- USACE. 2010. HEC-RAS River Analysis System User's Manual Version 4.1. Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA, USA.
- Ventura, S.J. and Irvin, B.J. 2000. Automated landform classification methods for soil-landscape studies. In, Wilson, J.P. and Gallant, J.C. (eds.), *Terrain Analysis: Principles and Applications*. Hoboken, N.J., USA. pp. 267-294.
- Warner, J., Van Buuren, A. and Edelenbos, J. 2013. *Making Space for the River*. IWA Publishing, London, UK and New-York, USA.
- Werner, M.G.F. 2001. Impact of grid size in GIS based flood extent mapping using a 1D flow model. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere* 26: 517-522.
- WMO. 2006. *Environmental Aspects of Integrated Flood Management*. APFM Technical Document No. 3, Flood Management Policy Series, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.