

LISFLOOD 모형을 이용한 파제에 의한 범람면적 비교 평가

최천규⁺ · 최윤석 · 김경탁

한국건설기술연구원 수자원연구소

Comparison and Evaluation of the Inundation Areas by Levee Breaching using LISFLOOD

Cheon Kyu Choi⁺ · Yun Seok Choi · Kyung Tak Kim

Water Resources Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요 약

본 연구의 목적은 LISFLOOD 모형을 이용하여 범람해석을 수행하고, 그 결과를 FLUMEN 모형에 의해 작성된 홍수범람도와 비교함으로써 국내하천에 대한 LISFLOOD 모형의 적용성을 평가하는 것이다. 이를 위해서 파제 시나리오를 작성하여 LISFLOOD 모형을 이용한 범람해석에 적용하였으며, 파제 시나리오별 범람해석 결과를 평가하였다. LISFLOOD 모형을 이용한 파제 시나리오별 범람해석 결과, FLUMEN 모형에 의해 작성된 홍수범람도와 각 파제 구간별 범람면적의 상대오차가 0.2% ~ 42% 정도로 파제 지점에 따라서 다소 상이한 결과를 나타내었다. 그러나 홍수위험지도 제작방법과 같이 파제 시나리오의 범람해석 결과를 중첩하여 작성된 두 모형의 최대 범람면적에서는 약 1.2%의 상대오차를 보임으로써 서로 유사한 결과를 나타내었다. 한편 LISFLOOD 모형은 입력자료의 구축이 용이한 격자형태의 DEM과 상류단 경계조건인 수문곡선만을 활용하여 범람해석을 할 수 있으며, 범람해석에 소요되는 시간이 FLUMEN 모형보다 짧은 것으로 나타났다. 그러므로 신속한 범람해석이 필요한 지역에 대해서는 LISFLOOD 모형의 활용이 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : LISFLOOD, 홍수범람도, 범람해석, FLUMEN

Abstract

The purpose of this study is to simulate inundation and evaluate the applicability of LISFLOOD model to the streams in South Korea by comparing with the inundation map using FLUMEN. The suggested levee breaching scenarios were applied to the LISFLOOD model, and the results obtained from scenarios were evaluated. The modeling results using LISFLOOD by applying the levee breaching scenarios showed 0.2% ~ 42% relative error with FLUMEN model in inundation area. But the relative error of maximum inundation area by overlapping all the flood analysis results from levee breaching scenarios such as the way making flood risk map was approximately 1.2% between two models. Meanwhile, LISFLOOD model was easy to construct input data, DEM as topographic data and discharge hydrograph as upper boundary conditions. And computing time of LISFLOOD was shorter than FLUMEN. Therefore LISFLOOD model can be applied usefully in the region that needs immediate inundation modeling.

Keywords : LISFLOOD, flood inundation map, flood analysis, FLUMEN

1. 서론

최근 국지성 집중호우 및 태풍에 의한 홍수피해가 빈번히 발생하고 있으며, 이로 인하여 하천 제방의 붕괴 및 월류에 의한 하천변 홍수범람 발생 가능성이 증가하고 있다(Park et al., 2011; Lee et al., 2011). 우리나라는 홍수 방어적 측면에서 치수안정성을 확보하기 위해 홍수예보 및 홍수위험지도 작성 등과 같이 비구조물적 대책을 수립하여 홍수피해 지역을 예상하고 이를 통하여 홍수로 인한 피해를 줄이고자

노력하고 있다(Park et al., 2011; Kim et al., 2008; Lee et al., 2012). 이와 같은 비구조물적 대책 중 하나인 홍수위험지도를 작성하기 위해서는 범람 모형을 이용하여 범람해석을 수행하며, 이때 제내지에서의 범람흐름 유형에 따라 범람 모형을 달리 적용하고 있다. 하천과 인접한 제내지에서 발생하는 외수범람은 범람흐름 유형에 따라 크게 유하형, 저류형, 확산형으로 구분된다(MLTM, 2008). 이 중 유하형과 저류형 범람흐름은 주로 1차원 부등류 해석을 통하여 모의하며, 확산형 범람흐름을 나타내는 구간

+ Corresponding author : ckchoi@kict.re.kr

해서는 2차원 범람해석을 수행한다. 국내에서는 2차원 범람해석을 위하여 주로 FLUMEN 모형을 이용하며, 제방의 파제를 가정하여 범람해석을 수행하고 있다.

국내에서는 홍수범람 양상을 예측하기 위하여 다양한 홍수범람 모형의 적용 결과 평가 및 범람해석 방안에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. Shim and Lee(2006)는 LiDAR 자료를 활용하여 시가지 지역에 대한 인공구조물을 포함한 DEM 자료를 구축하고 2차원 범람모형인 MIKE21 모형을 이용한 홍수범람해석 결과를 평가한 바 있으며, Park et al.(2011)은 실제 제방 파제로 인하여 침수피해가 발생한 지역에 대해 FLDWAV 모형을 이용하여 범람해석을 수행하고 이를 실제 침수면적과 비교하여 모형의 적용성을 검토하였으며 범람면적이 실제침수면적과 비교하여 약 90%정도의 적합도를 나타내는 것으로 평가한 바 있다. 또한 Kim et al.(2008)은 사면구조 기법을 이용하여 격자를 구성하고 2차원 수치모형을 개발하여 남강 유역에 적용함으로써 모형의 적용성을 평가하였으며, Lee et al.(2011)은 DEM 기반의 2차원 홍수범람모형을 개발하여 범람해석을 수행하고 MD-FDA(Multi-Dimensional Flood Analysis)법을 이용하여 홍수 피해액을 산정하여 침수가 발생한 침수지역의 피해액과 비교하였다.

FLUMEN 모형을 이용한 2차원 범람해석과 관련된 국내 연구로는 Bae et al.(2005)이 FLUMEN 모형을 이용하여 급변류 해석과 처오름 해석을 수행하고 구리시 유역에 홍수 시나리오를 작성하여 파제에 따른 홍수범람해석을 수행한 바 있다. 또한 Kang et al.(2007)은 진위천 구간에 대하여 FLUMEN 모형을 이용하여 홍수범람해석을 하고 이를 침수실적도와 비교하여 모형의 적용성을 평가하였으며, Lee and Choi(2010)은 무주남대천 구간에 대하여 FLUMEN 모형을 적용하여 제방 붕괴에 따른 빈도별 범람해석을 하고 그 결과에 대하여 전체 침수면적과 1m 이상 침수된 면적을 빈도별로 비교 및 평가하였다. Cho et al.(2010)은 FLUMEN 모형을 이용하여 홍수범람해석을 하고, 계산된 침수심과 유속에 관한 정보를 이용하여 USBR(U.S. Department of the Interior-Bureau Reclamation)에서 제시한 홍수위험 분류기준별 홍수위험지도를 작성한 바 있다. 이와 같이 FLUMEN 모형의 국내 하천에 대한 적용성은 파제에 의한 범람해석 및 도시 지역에 대하여 다양한 시나리오의 적용을 통해 입증된 바 있다.

본 연구에서 적용한 범람해석 모형인 LISFLOOD

모형은 격자형태의 지형자료와 수문곡선을 이용하여 비교적 간단하면서도 합리적인 물리적 재현성을 가진 범람모형으로 평가되고 있다(KEI, 2009; Choi et al., 2013). LISFLOOD 모형을 이용한 국내 연구로는 기후변화를 고려한 연안에 대한 홍수범람 취약성을 평가하기 위한 범람해석 모형 평가시 LISFLOOD 모형이 검토된 바 있으며(KEI, 2009), Kang et al.(2011)은 낙동강 상류의 농경지 지역에 대하여 LISFLOOD 모형을 이용한 홍수범람해석을 수행하고 이를 바탕으로 농경지 저류지화에 따른 홍수저감 방안을 평가하였다. 또한 Choi et al.(2013)은 청미천 구간에 대하여 LiDAR 자료를 이용하여 지형자료를 구축하고 LISFLOOD 모형을 이용하여 범람해석을 수행하였으며, 이를 HEC-RAS에 의해 작성된 홍수범람도와 비교한 바 있다. 국외에서는 De Roo et al.(2000)은 유럽의 Meuse 유역과 Oder 유역에 GIS와 연계한 LISFLOOD 모형을 적용하는 등 LISFLOOD 모형을 이용하여 다양한 연구가 진행된 바 있다(Baldssaree et al., 2010; Beckers and Schutt, 2013; Dankers et al., 2007; Horritt, 2006; Horritt and Bates, 2002; Hunter et al., 2007; Pappenberger et al., 2007).

한편 범람해석을 위해 보다 신속한 입력자료 구축 및 불확실성을 검토하는 연구로는 Jung et al.(2013)이 HEC-RAS 모형을 이용하여 범람해석을 수행하고 이를 통하여 범람해석에 미치는 조도계수와 유량의 불확실성을 GLUE(Generalized Likelihood Uncertainty Estimation)를 이용하여 정량적으로 평가하였다. 이 연구에서는 입력자료인 조도계수와 유량의 불확실성이 범람해석 결과에 전달되기 때문에 보다 정확한 입력자료를 활용해야 된다는 결론을 도출하였다. Lee et al.(2012)은 1:5,000 수치지형도로부터 구축된 DEM과 WMS(Web Map Service)에서 제공하는 ASTER DEM 및 SRTM DEM을 적용하여 HEC-RAS 모형과 HEC-GeoRAS 모형을 이용하여 범람해석을 수행하였으며, 이를 통하여 ASTER DEM보다 SRTM DEM을 이용하여 보다 쉽게 지형자료를 구축함으로써 범람해석에 소요되는 시간과 비용을 줄일 수 있음을 확인하였다.

이와 같이 국내에서의 범람해석 관련 연구는 대부분 범람해석 결과의 정확성 향상 및 해석 방법에 대한 연구가 주로 이루어져 왔다. 그러나 홍수위험지도 제작시간을 단축하고 홍수범람 위험에 신속히 대처하기 위해서는 신속한 범람해석에 대한 연구가 함께 이루어져야 한다. 본 연구에서는 (1) 기존의 2차원 범람 모형보다 쉽고 빠르게 범람해석을 수행할 수 있는 LISFLOOD 모형을 이용하여 파제에 의한 범람해석을

수행하고, (2) 최대범람면적을 중심으로 국내 홍수위험지도 제작에 이용되고 있는 FLUMEN 모형의 범람 해석 결과와 비교함으로써 LISFLOOD 모형의 정확성과 범람해석 과정의 효율성을 평가하며, (3) 이를 통해서 향후 홍수위험지도 제작을 위한 LISFLOOD 모형의 적용 가능성을 평가하고자 한다.

2. LISFLOOD 모형

본 연구에서 범람해석을 위해 적용한 LISFLOOD 모형은 영국 Bristol University의 Paul Bates 교수에 의해 개발되었으며, 래스터(raster) 기반의 범람모형으로(Bates and De Roo, 2000), 격자 형태의 지형자료와 상류단의 수문곡선을 입력자료로 활용하여 홍수범람 흐름을 계산할 수 있다. 홍수범람 흐름은 2차원 흐름으로 해석하고 연속방정식과 수심차를 고려한 manning공식을 이용하여 셀과 인접한 셀들 사이에서 자유 수면고의 차이에 의해 계산되며(Bates and De Roo, 2000; Bates et al., 2010), 식(a)과 식(b)는 범람해석에 활용되는 식을 나타낸 것이다.

$$\frac{dh^{i,j}}{dt} = \frac{Q_x^{i-1,j} - Q_x^{i,j} + Q_y^{i,j-1} - Q_y^{i,j}}{\Delta x \Delta y} \quad (a)$$

$$Q_x^{i,j} = \frac{h_{flow}^{5/3}}{n} \left(\frac{h^{i-1,j} - h^{i,j}}{\Delta x} \right)^{1/2} \Delta y \quad (b)$$

여기서, $h^{i,j}$ 는 (i,j) 격자의 자유 수면고, h_{flow} 는 격자 사이에서 발생하는 유량 수심, Δx 는 x 방향의 격자크기, Δy 는 y 방향의 격자크기, n 은 Manning의 조도계수, Q_x 는 x 방향으로 발생하는 격자간 이동 유량, Q_y 는 y 방향으로 발생하는 격자간 이동 유량, t 는 시간을 나타낸다.

CAESAR LISFLOOD 모형은 LISFLOOD 모형과 하천의 침식과 퇴적을 모의할 수 있는 CAESAR의 지형학적 모형을 결합한 모형으로써 지형학적 모형을 제외한 LISFLOOD 모형을 활용하여 범람해석을 할 수 있다(Coulthard et al., 2013, Choi et al., 2013). 이에 따라 본 연구에서는 사용자가 쉽게 활용할 수 있도록 GUI가 구성되어 있으며 오픈소스로 제공되고 있는 CAESAR LISFLOOD(v.1.6a)모형을 적용하여 하도와 제내지를 구분하지 않고 전체 대상구간에 대하여 범람 해석을 수행하였다.

3. 대상구간 자료 구축 및 파제 시나리오 구성

3.1 대상구간 및 입력자료 구축

3.1.1 대상구간 선정

본 연구에서는 LISFLOOD 모형을 이용한 홍수범람 해석 결과를 FLUMEN 모형에 의해 작성된 홍수범람도와 비교하여 LISFLOOD 모형의 범람해석 결과를 검토하고 국내 하천에 대한 적용성을 평가하고자 한다. 본 연구의 대상구간은 국내 하천 중 FLUMEN 모형을 이용하여 홍수위험지도가 제작되어 있어 LISFLOOD 모형을 이용한 범람해석 결과와 비교할 수 있는 한강의 지류인 청미천 구간으로 선정하였다. 청미천 구간은 FLUMEN 모형에 의해 장호원읍 구간에 대하여 홍수위험지도(MLTM, 2012)가 제작된 바 있다. Fig. 1은 본 연구에서 선정된 대상구간을 나타낸 것이다. 대상구간 내에는 청미천이 흐르고 있으며, 청미천의 지류인 오갑천과 설성천이 합류되고 제내지의 기반고가 계획홍수위보다 낮은 지역이 넓게 분포되어 있다. 또한 대상 구간 내에는 장호원읍이 있으며 그 주변 지역은 대부분 농경지로 구성되어 있다. 홍수범람해석을 위한 파제 지점은 FLUMEN 모형을 이용하여 작성된 홍수범람도와 비교하기 위하여 MLTM(2012)에서 적용한 14곳 중 제내지 범람면적이 넓어 범람해석 결과를 비교하기가 용이한 9개 지점(CM1~CM9)을 선정하였다. Fig. 1은 본 연구에서 파제 시나리오로 적용한 9개의 파제 지점을 나타낸 것이다.

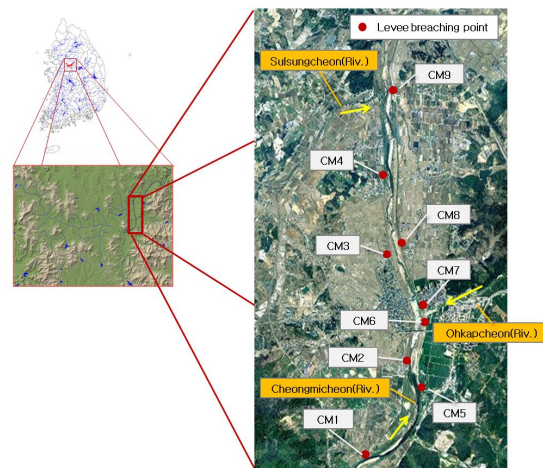


Fig. 1. Locations of study area and levee breaching points

3.1.2 지형자료 구축

LISFLOOD 모형은 격자형태의 지형자료와 수문학 적 자료를 입력자료로 활용하며, Table 1은 본 연구에 서 적용한 입력자료를 나타낸 것이다. 대상구간의 지 형자료를 구축하기 위하여 1m 간격의 LiDAR 자료와 청미천 하천정비기본계획보고서(MLTM, 2011)에서 제 시된 하천단면 측량자료를 활용하였다. 이때 LiDAR 자료는 제외지 수역에서 하천의 수면고를 제공하기 때문에 하천의 실제 바닥고를 지형자료에 반영하지 못하게 된다. 그러므로 제외지 수역에 대해서는 청미 천 하천정비기본계획보고서(MLTM, 2011)에서 측량된 하천단면 자료를 활용하여 하천의 바닥고가 반영된 지형자료를 구축하였다. 본 연구에서는 두 개의 자료 를 중첩하여 제외지 수역의 바닥고가 반영된 DEM을 10m×10m 해상도로 구축하였다. 또한 FLUMEN 모형 에 의해 작성된 홍수범람도(MLTM, 2012)에서는 과제 시나리오에 의한 범람해석시 제방 부분을 breakline으 로 설정하여 기존 제방고보다 4m정도 높은 고도를 부여하였다. 이에 따라 본 연구에서 구축된 DEM의 제방고 또한 율류에 의한 범람이 발생하지 않도록 기 존 제방고보다 5m 이상 높게 설정하였으며, Fig. 2는 연구 대상구간에 대하여 두 개의 지형자료(LiDAR와 하천단면 측량자료)를 중첩하여 구축한 DEM을 나타 낸 것이다.

3.1.3 유량자료 구축 및 매개변수 설정

LISFLOOD 모형은 상류단 경계조건으로 유량수문 곡선을 적용한다. 본 연구에서는 FLUMEN 모형을 이 용한 범람해석을 위하여 적용된 대상구간의 100년 빈 도 계획홍수량을 활용하였다(MLTM, 2012). MLTM (2012)에서는 청미천 본류 구간의 100년 빈도 계획홍 수량 수문곡선과 지류인 오갑천, 설성천의 100년 빈 도 계획홍수량 수문곡선을 이용하여 범람해석을 수행 하였으며, 본 연구에서도 LISFLOOD 모형의 상류단 경계조건으로 100년 빈도 계획홍수량 수문곡선을 적 용하였다. 본 연구에서 적용한 LISFLOOD 모형의 상 류단 입력자료인 청미천, 오갑천, 설성천의 100년 빈 도 계획홍수량 수문곡선은 Fig. 3과 같다.

또한 LISFLOOD 모형을 구동하기 위해 사용자가 정의해야 하는 매개변수는 최소계산수심, Courant Number 및 Manning의 조도계수 등이 있다. 본 연구 에서는 최소 계산수심과 Courant Number를 대상구간 에 대하여 시행착오법을 이용하여 각각 0.1m와 0.2로 설정하였으며, Manning의 조도계수는 MLTM(2011)에

서 제시된 0.03을 입력하였다(Choi et al., 2013).

Table 1. Input data of LISFLOOD

Data	Method	Data Source
Spatial data	·10m×10m DEM (LiDAR + River cross-sectional data)	·LiDAR - Multi-dimensional spatial-information construction project (National Geographic Information Institute, 2006) ·River cross-sectional data - Cheongmicheon(Riv.) river maintenance master plan report(MLTM, 2011)
Hydrol. data	·Design flood of 100yr. return period	·Flood risk mapping report in the Han river watersheds(3rd) (MLTM, 2012)

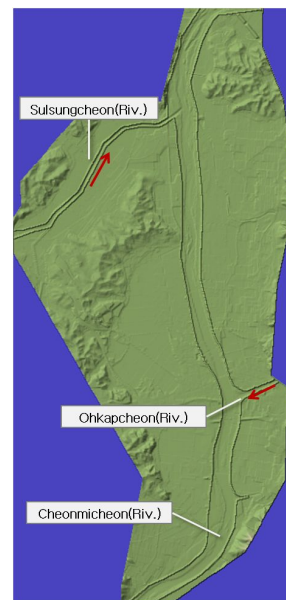


Fig. 2. DEM of study area

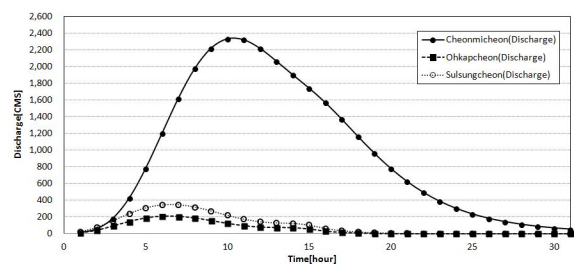


Fig. 3. Hydrological data (design flood of 100yr. return period)

3.2 파제 시나리오 구성

MLTM(2012)에서는 청미천 국가하천 구간 중 범람 형태가 제내지에서 확산형 흐름을 나타내는 구간에 대하여 FLUMEN 모형을 적용하였으며, 저지대 분석 및 파제 위험성을 고려하여 총 14개 구간에 대하여 파제 지점을 선정하고 파제에 따른 범람해석을 수행하였다. 본 연구에서 적용한 파제 지점은 FLUMEN 모형에서 적용한 14개의 파제 지점 중 범람 면적이 비교적 넓어 확인이 용이한 지점으로 9개 지점을 선정하였으며, Fig. 1에서 표시된 CM1~CM9와 같다. 본 연구에서 설정한 총 9개 지점의 파제폭은 MLTM(2008)에서 제시하는 파제폭 설정 공식인 식(c)를 이용하여 계산하였으며, 10m×10m의 DEM에 파제폭을 설정하기 위하여 계산된 파제폭을 10m 단위로 반올림하여 적용하였다. 또한 파제부 높이는 MLTM(2008)에서 제시하는 바와 같이 파제부와 인접한 제내지의 평균 고도를 적용하였으며, Table 2는 각 파제 지점에서 적용된 파제폭과 파제고를 나타낸 것이다.

$$y = 1.9 \times (\log_{10} x^{3.8} + 20) \quad (c)$$

여기서, x 는 강폭(m)이며, y 는 산정된 파제폭(m)을 나타낸다.

Table 3. Width and height of each breaching point

Breaching point	Width[m]	Height[m]*
CM1	90	64.75
CM2	90	62.96
CM3	90	61.06
CM4	90	58.72
CM5	90	62.51
CM6	90	61.26
CM7	80	61.70
CM8	80	60.27
CM9	90	57.71

* Height : average height of protected lowland adjacent to breaching point

4. LISFLOOD 모형을 이용한 홍수범람해석

본 연구의 LISFLOOD 모형을 이용한 범람해석에서의 파제 지점은 MLTM(2012)에서 적용한 FLUMEN 모형의 파제 지점을 적용하였다. MLTM(2012)에서는 제방이 파제되지 않은 상태에서 모의를 시작하고, 하

천에서 침투홍수량이 발생할 때 제방을 파제하여 파제에 의한 제내지에서의 범람해석을 수행하였다. 이러한 방법은 하천의 흐름이 최고 수위에 도달하였을 때가 파제 위험성이 가장 높다는 가정에 의한 것이다. 이에 따라 본 연구의 LISFLOOD 모형을 이용한 범람해석에서도 침투홍수량이 발생한 시간에서 제방 파제를 적용하였으며, LISFLOOD 모형으로부터 도출된 범람해석 결과를 FLUMEN 모형에 의해 작성된 홍수범람도(MLTM, 2012)와 비교함으로써 제방 파제에 의한 제내지의 범람양상을 비교 및 검토하였다.

4.1 파제구간별 범람해석 결과 평가

Table 3은 각 파제 지점별 LISFLOOD 모형의 범람 해석 결과와 FLUMEN 모형에 의해 작성된 홍수범람도를 비교한 것이며, Fig. 4는 LISFLOOD 모형을 이용하여 작성된 파제 지점별 홍수범람면적과 FLUMEN 모형을 이용하여 작성된 홍수범람도를 나타낸 것이다.

LISFLOOD 모형을 이용한 범람 면적을 FLUMEN 모형에 의해 작성된 홍수범람도와 비교한 결과 파제 지점 CM1, CM2, CM3, CM4 및 CM5는 범람면적의 상대오차가 11% 이하로 유사하게 나타났다. CM1 ~ CM5 지점은 범람영역의 경계가 산지나 고도가 높은 지역과 접해 있어서 확산형 혹은 저류형 범람양상을 나타내는 지점이다. 확산형 혹은 저류형 특징을 가지는 범람에서는 유하형 범람에 비해서 시간 경과에 따른 범람영역 확장 비율이 감소하게 된다. 본 연구의 CM1 ~ CM5 지점에서는 이러한 범람특성을 나타내고 있으며, 범람영역이 고지대까지 확장된 이후에는 모델링 기간이 최대 범람영역의 변화에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

CM6과 CM8 및 CM9에서는 다른 지점에 비해서 두 모형간의 상대오차가 큰 것으로 나타났다. 이 중 CM8 및 CM9의 경우 인접한 제내지가 하천을 따라 길게 분포한 농경지이며, 하천의 흐름 방향으로 고도가 낮게 분포되어 있어 파제 지점으로부터 제내지로 유입된 범람류가 하천의 흐름방향과 동일한 방향으로 전파되면서 범람 면적이 확장되는 특징을 나타내고 있다. 이와 같이 제내지의 범람 대상 구간이 넓고 하천 흐름과 같은 방향으로 범람류가 유하하는 유하형 범람 양상을 나타내는 경우에는 시간이 경과함에 따라서 침수영역이 변화하게 된다. 그러므로 CM8 및 CM9에서의 범람면적은 최대 범람범위를 결정하는 시점에 따라서 달라질 수 있으며, 이러한 원인에 의해 FLUMEN 모형을 이용하여 제시된 범람면적과 차이가 발생된 것으로 판단된다. 또한 25%의 상대오차를

보이는 CM6은 제내지 주변의 고도가 높아 저류형 혹은 확산형 범람양상을 나타내는 지점이지만, 범람면적이 가장 작은 지점으로서, 범람면적 절대값의 차이가 작음에도 불구하고 큰 상대오차를 나타낸 것으로 판단된다.

CM2에서의 범람영역은 CM1의 범람영역과 같은 제내지를 대상으로 하고 있으며, CM8과 CM9의 범람영역은 CM7의 범람영역과 같은 제내지를 대상으로 하고 있다. Table 3과 Fig. 4에서는 같은 제내지를 범람대상 영역으로 하고 있는 CM1과 CM2 그리고 CM7, CM8 및 CM9에서 각각 다른 범람면적과 범람영역을 나타내고 있다. 이러한 결과는 동일한 제내지를 대상으로 범람해석을 할 경우에도 과제 지점별로 계산결과가 달라질 수 있음을 나타내는 것이다. 그러므로 임의 제내지에 대한 최대범람범위를 계산하기 위해서는 대상 제내지 구간의 제방에서 다양한 위치

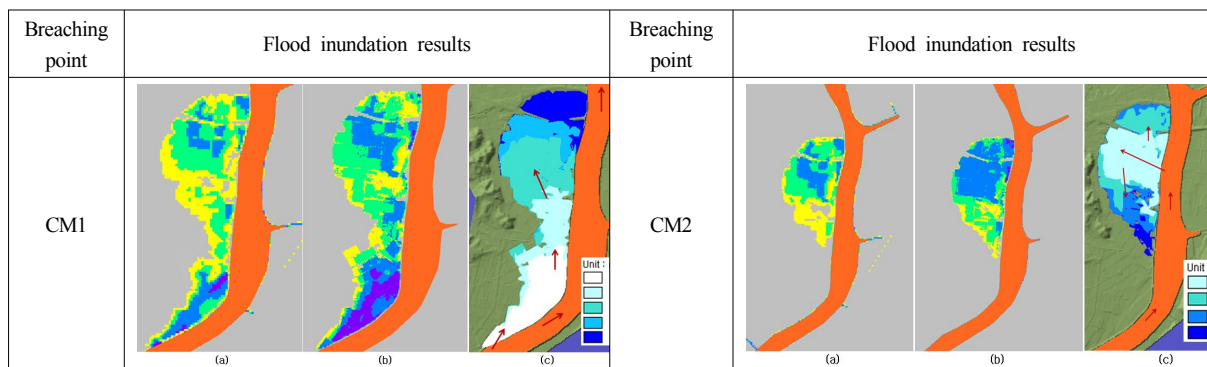
에 대한 과제(과제 시나리오) 모의가 필요한 것으로 판단된다.

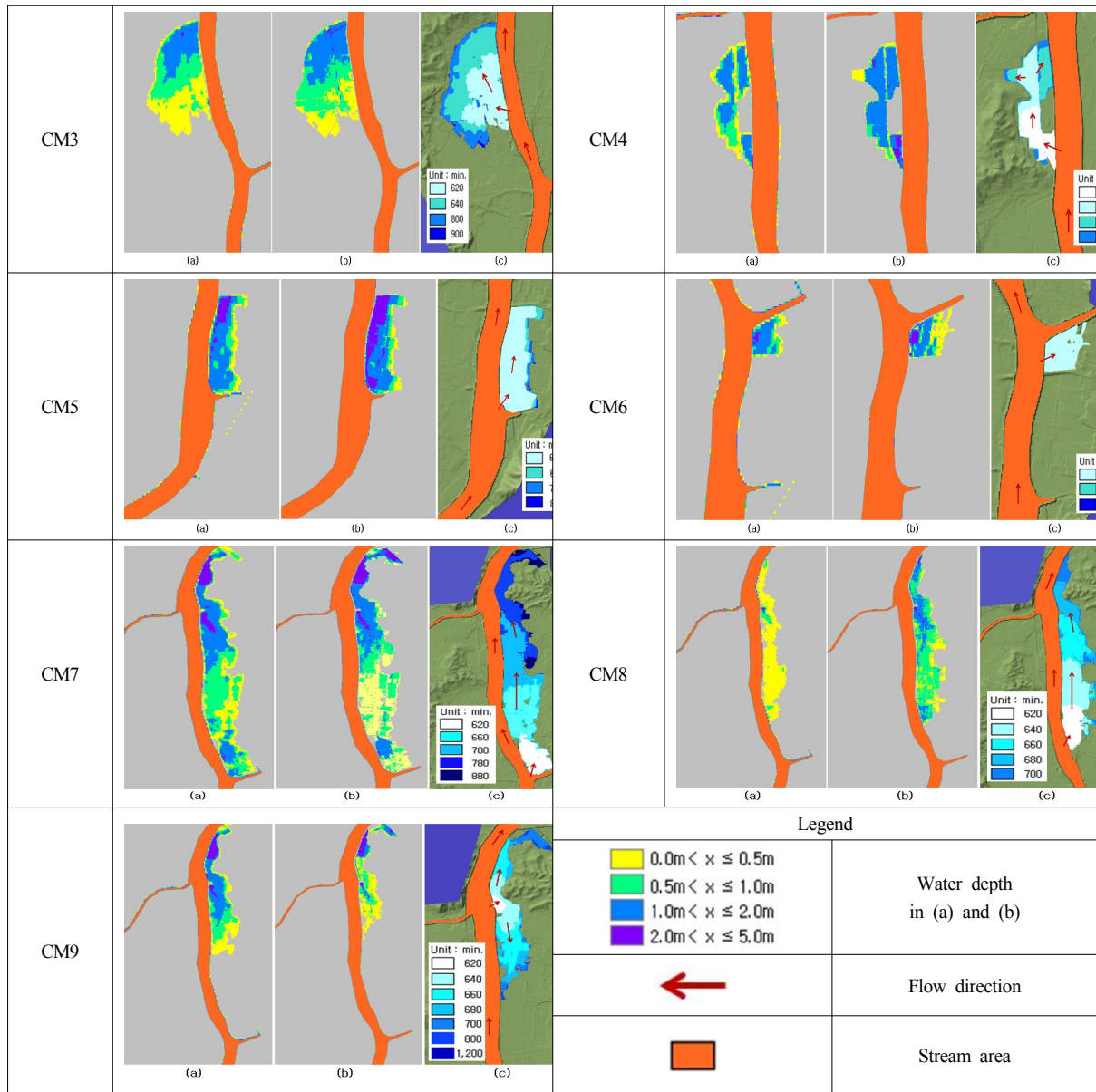
본 연구에서 적용한 LISFLOOD 모형은 지형자료로 DEM만을 이용하므로 지형자료의 구축이 비교적 단순하며, 제방의 상황을 DEM의 고도값 수정으로 지형자료에 손쉽게 반영하여 범람해석을 수행할 수 있는 특징이 있다. 또한 LISFLOOD 모형은 연속방정식 위주의 2차원 해석을 수행함으로써 계산시간이 비교적 적게 소요된다. Table 3에서 'Tmax'는 홍수사상 시작 시간부터 최대범람면적을 나타내는 시점까지의 유출 및 범람 경과시간을 나타낸 것이다. FLUMEN 모형의 경우 일반적으로 수일의 모델링 시간이 소요되지만, 본 연구의 LISFLOOD 모형은 'Tmax'까지 평균적으로 약 3시간 정도의 계산시간이 소요되어 FLUMEN 모형에 비해 계산시간을 크게 단축할 수 있는 것으로 나타났다.

Table 4. Comparison of flood inundation area for each breaching point

Breaching point	Max. inundation area			Tmax[min.] (Time to max. inundation area in LISFLOOD)
	FLUMEN[m ²] (①)	LISFLOOD[m ²] (②)	Areal ratio[%] (((①-②)/①)×100)	
CM1	1,004,953	1,108,285	10.28	800
CM2	686,947	747,692	8.84	700
CM3	960,836	962,434	0.17	900
CM4	248,041	249,521	0.60	680
CM5	284,582	298,884	5.03	800
CM6	71,332	89,169	25.01	800
CM7	2,096,149	1,976,923	5.69	880
CM8	896,688	1,275,444	42.24	700
CM9	1,017,714	615,259	39.54	1,200

※ Levee breaching time : 600 min.





※ (a) Inundation areas using FLUMEN, (b) Inundation areas using LISFLOOD
(c) Inundation areas according to the time(LISFLOOD)

Fig. 4. Comparison of flood inundation areas (FLUMEN and LISFLOOD)

4.2 전체 범람 면적 평가

MLTM(2012)에서는 FLUMEN 모형을 이용하여 계산된 과제 지점별 100년 빈도의 범람해석 결과를 모두 중첩하여 대상 구간 전체에 대한 최대범람도를 제시하고 있다. 본 연구에서는 홍수위험지도 제작시 적용되는 전체 범람면적의 비교를 위하여 LISFLOOD 모형을 이용한 과제 지점별 홍수범람해석 결과를 모두 중첩하여 100년 빈도의 최대범람도를 작성하고, MLTM(2012)에서 제시된 최대범람도와 비교하였다. Fig. 5는 대상 구간 전체에 대한 두 모형의 최대 범람 면적을 도시한 것이다. LISFLOOD 모형에 의한 최대

범람면적은 약 4.72km²로 MLTM(2012)에서 제시하고 있는 FLUMEN 모형에 의한 최대 범람면적인 4.67km²보다 약 1.2% 크게 산정되었으며, 전체적으로 두 모형의 범람해석 결과가 유사한 것으로 나타났다. Fig. 5에서 G1은 두 모형간의 최대 범람영역의 차이가 비교적 큰 부분을 나타낸 것으로 논으로 이루어진 지역이다. G1영역에는 주변보다 고도가 높은 폭 5m 가량의 농로가 있으며, LISFLOOD 모형에 적용한 10m×10m DEM을 구축할 때 이 부분의 고도가 반영되지 않아서 FLUMEN 모의 결과보다 범람영역이 크게 산정된 것으로 판단된다.

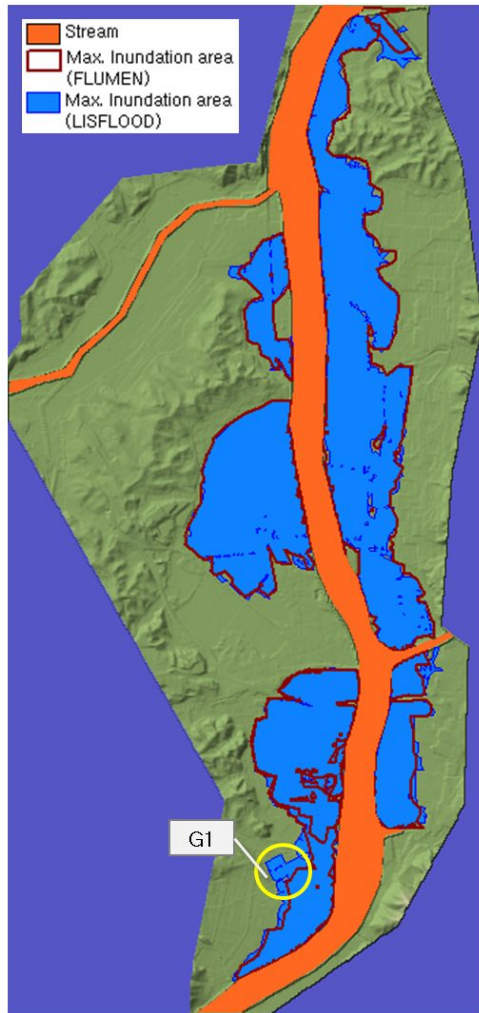


Fig. 5. Comparison of max. inundation areas (FLUMEN & LISFLOOD)

5. 결론 및 고찰

본 연구에서는 청미천 국가하천 구간에서 구축된 FLUMEN 모형을 이용한 홍수범람도와 LISFLOOD 모형을 이용한 범람해석 결과를 비교 및 평가하였다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 과제 시나리오에 의한 LISFLOOD 모형의 범람 해석 결과를 FLUMEN 모형에 의해 작성된 홍수범람도와 비교한 결과 9개 과제 지점 중 6개 지점에서 범람면적의 상대오차가 11% 이하로 범람면적이 유사하게 나타났으며, 3개 지점에 대해서는 상대오차가 비교적 크게 계산되었다. 상대오차가 크게 산정된 지점 중 CM8과 CM9는 제내지의 범람형태가 하천의 흐름 방향과 동일한 방향으로 길게 형성되어 유하형 범람양상을 나타내는 지점이다. 이러한 특징을 가지는 영역의 최대범람범위는 그 값을 결정하는 시점에 따라

서 달라질 수 있으므로, 충분한 모델링 기간에 대해 평가하는 것이 필요하다.

(2) 과제 지점별 범람해석 결과를 중첩한 100년 빈도 최대범람도에서는 LISFLOOD 모형의 계산결과와 FLUMEN 모형에 의해 작성된 최대범람도와의 상대오차가 약 1.2%로 유사하게 나타났다. 과제 지점 중 CM1 ~ CM5는 상대오차가 작고 저류형 혹은 확산형 범람을 나타내는 지점으로서, 최대범람도 작성을 위한 각 지점의 계산결과 중첩시에도 오차가 작게 반영된 것으로 판단된다. 과제 지점별 범람해석 결과의 상대오차가 크게 나타난 CM6, CM8 및 CM9 중 CM6은 범람면적이 작아서 최대범람도의 상대오차에 미치는 영향이 작은 것으로 나타났다. 또한 CM8과 CM9는 유하형 범람양상을 나타내는 지점으로서 각 지점에 대한 계산결과와의 상대오차는 크지만, 범람영역이 서로 중첩될 뿐만 아니라, 각 범람영역이 모두 CM7 지점의 범람영역에 포함되기 때문에 최대범람도의 상대오차에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

(3) LISFLOOD 모형을 이용한 범람해석 결과는 FLUMEN 모형과 다소 차이를 나타내고 있으나 FLUMEN 모형에 비해 짧은 계산시간이 소요되는 것으로 평가되었다. 또한 DEM 자료를 활용하여 다양한 과제 시나리오의 적용이 용이하며, 상류단 경계조건으로 수문곡선만을 이용하므로 모형의 입력자료를 손쉽게 구축할 수 있는 것으로 검토되었다. 그러므로 고정밀 모형을 이용한 홍수위험지도가 제공되지 않는 지역에서의 개략적 홍수위험지도 제작 및 치수계획 수립시 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

(4) 본 연구의 청미천 구간에서의 최대범람도 상대오차는 1.2%로 작게 나타났으며, 그 원인은 저류형 및 확산형 범람 구간의 작은 상대오차와 유하형 범람 구간에서의 중첩에 의한 상대오차 상쇄로 인한 것으로 분석되었다. 그러나 저류형 혹은 확산형 범람 구간의 영역이 넓을 경우에는 이러한 구간에서의 상대오차도 크게 나타날 수 있으며, 유하형 범람 구간이 중첩되지 않을 경우에는 최대범람도 작성시 상대오차가 상쇄되지 않을 수 있다. 이러한 지점에 대한 범람 해석 결과는 사용되는 모형 및 과제 시나리오에 따라서 다양한 결과가 제시될 수 있으며, 최대범람도 또한 서로 달라질 수 있다. 그러므로 이러한 지점에 대해서 범람해석을 하고, 홍수위험지도 제작에서와 같이 최대범람도를 작성할 경우에는 다양한 범람해석 모형 및 과제 시나리오를 적용하고 그 결과를 비교 평가하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(지방하천 홍수위험지도 제작기술 개발)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- Bae, YH, Koh, DK and Cho, YS (2005). Numerical simulations of flood inundations with FLUMEN, *J. of Korea Water Resources Association*, 14(4), pp. 355-364. [Korean Literature]
- Baldassarre, GD, Schumann, G, Bates, PD, Freer, JE and Beven, KJ (2010). Flood-plain mapping: a critical discussion of deterministic and probabilistic approaches, *Hydrological Sciences Journal*, 55(3), pp. 364-376.
- Bates, PD. and De Roo, APJ (2000). A simple raster-based model for flood inundation simulation, *J. of Hydrology*, 236(1-2), pp. 54-77.
- Bates, PD, Horritt, MS and Fewtrell, TJ (2010). A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modelling, *J. of Hydrology*, 387, pp. 33-45.
- Beckers, B and Schutt, B (2013). The elaborate floodwater harvesting system of ancient Resafa in Syria-Construction and reliability, *J. of Arid Environments*, 96, pp. 31-47.
- Cho, WH, Han, KY and Ahn, KH (2010). Flood risk mapping with FLUMEN model application, *J. of Korean Society of Civil Engineers*, 30(2B), pp. 169-177. [Korean Literature]
- Choi, CK, Choi, YS and Kim, KT (2013). Analysis of flood inundation using LiDAR and LISFLOOD model, *J. of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 16(4), pp. 1-15. [Korean Literature]
- Coulthard, TJ, Hicks, DM and Van De Wiel, MJ (2007). Cellular modelling of river catchments and reaches: advantages, limitations and prospects, *Geomorphology*, 90, pp. 192-207.
- Coulthard, TJ, Neal, JC, Bates, PD, Ramirez, J, De Almeida, GAM and Hancock, GR (2013). Integrating the LISFLOOD-FP 2D hydrodynamic model with the CAESAR model: implications for modelling landscape evolution, *Earth Surf. Process. Landforms*, 38, pp. 1897-1906.
- Dankers, R, Christensen, OB, Feyen L and Kalas, M (2007). Evaluation of very high-resolution climate model data for simulating flood hazards in the Upper Danube Basin, *J. of Hydrology*, 347, pp. 319-331.
- De Roo, APJ, Wesseling, CG and Van Deursen, WPA (2000). Physically based river basin modelling within a GIS: the LISFLOOD model, *Hydrol. Processes*, 14, pp. 1981-1992.
- Horritt, MS and Bates, PD (2002). Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation, *J. of Hydrology*, 268, pp. 87-99.
- Horritt, MS (2006). A methodology for the validation of uncertain flood inundation models, *J. of Hydrology*, 326, pp. 153-165.
- Hunter, NM, Bates, PD, Horritt, MS and Wilson, MD (2007). Simple spatially-distributed models for predicting flood inundation: a review, *Geomorphology*, 90, pp. 208-225.
- Jung, YH., Yeo, KD, Kim, SY and Lee, SO (2013). The effect of uncertainty in roughness and discharge on flood inundation mapping, *J. of Korean Society of Civil Engineers*, 33(3), pp. 937-945. [Korean Literature]
- Kang, HS, Cho, SY and Song, YI (2011). A study on flood storage plans of farmlands for extreme flood reduction, *J. of Korea Water Resources Association*, 44(10), pp. 787-795. [Korean Literature]
- Kang, SM, Park, MJ, Kim, SH and Kim, SJ (2007). A study on the mitigation of inundation damage using flood inundation analysis model FLUMEN -For the part of Jinwicheon reach-, *J. of Korean Society of Civil Engineers*, 27(6B), pp. 583-590. [Korean Literature]
- KEI(Korea Environment Institute). (2009). Fundamental research on costal landward boundaries integrated flood forecasting methods according to the climate change. [Korean Literature]
- Kim, JH, Lee, SO, Yoon, KS and Cho, YS (2008). Application of a two-dimensional flood inundation model based on quadtree grid, *J. of Korean Society of Hazard Mitigation*, 8(3), pp. 129-136. [Korean Literature]
- Lee, GH, Park, KW, Yu, WS, Jung, KS and Jang, CL (2011). A study on flood damage estimation using

- DEM-based flood inundation model and MD-FDA, *J. of Korean Society of Hazard Mitigation*, 11(5), pp. 327-336. [Korean Literature]
- Lee, GS and Choi, YW (2010). The simulation of flood inundation of Namdae stream with GIS-based FLUMEN model, *J. of Korea Spatial Information Society*, 18(2), pp. 25-34. [Korean Literature]
- Lee, JS, Moon, CG, Kim, SD, Cho, SG and Shin, SC (2012). A study on construction techniques of river topography for flood inundation analysis, *J. of the Korean Geo-Environmental Society*, 13(5), pp. 59-68. [Korean Literature]
- MLTM(Ministry of Land, Transport and Maritime). (2008). Guidance on flood risk mapping.
- MLTM(Ministry of Land, Transport and Maritime). (2011). Cheonmicheon(Riv.) river maintenance master plan report.
- MLTM(Ministry of Land, Transport and Maritime). (2012). Flood risk mapping report in the Han river watersheds(3rd).
- Pappenberger, F, Frodsham, K, Beven, K, Romanowicz, R and Matgen, P (2007). Fuzzy set approach to calibrating distributed flood inundation models using remote sensing observation, *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(2), pp. 739-752.
- Park, SJ, Choi, HG, Huh, YH and Han, KY (2011). Establishment and application of 2-dimensional flood inundation analysis system by the collaboration of river and lowland in Nam river basin, *J. of Korean Society of Hazard Mitigation*, 11(6), pp. 237-247. [Korean Literature]
- Shim, JM and Lee, SB (2006). The study of flood simulations using LiDAR data, *J. of Korean Society for Geographical Information System*, 14(4), pp. 53-60. [Korean Literature]
- 논문접수일 : 2014년 04월 18일
○ 심사의뢰일 : 2014년 04월 28일
○ 심사완료일 : 2014년 07월 01일