

2차원 홍수범람해석을 위한 HEC-RAS 5.0 적용성 평가

이춘호^{1*}, 이태근²

¹동부엔지니어링(주) 수자원환경부, ²동부엔지니어링(주) GIS팀

Evaluation of an Applicability of HEC-RAS 5.0 for 2-D Flood Inundation Analysis

Choon-Ho Lee^{1*}, Tae-Geun Lee²

¹Department of Water Resources and Environment, Dongbu Engineering

²GIS Team, Dongbu Engineering

요약 최근 집중호우로 인한 홍수발생 빈도와 그 규모가 커지고 있다. 이러한 현상을 반영하여 많은 국가에서는 향후 발생 가능한 홍수로 발생할 수 있는 피해에 대한 위험성에 대한 인식을 국민에게 제고할 수 있는 홍수위험지도가 제작되고 있다. 홍수위험지도는 다양한 홍수범람해석모형을 통해 작성되는 데 침수원인에 따라 외수범람해석모형과 내수범람해석모형으로 구분할 수 있다. 국내·외적으로 다양한 홍수범람해석모형이 사용되고 있지만 미육군공병단에서 개발된 HEC-RAS 모형을 제외한 대부분은 고가의 상용 프로그램으로써 그 사용성이 제한되어 있는 것이 사실이다. 이러한 상황에서 현재 미육군공병단에서는 기존 1차원 모형인 HEC-RAS 모형과 연계 가능한 2차원 모형을 개발 중에 있다. 이 모형은 HEC-RAS 5.0이라는 명칭으로 베타버전이 공개되었다. 본 연구에서는 곡교천을 대상으로 선공개된 HEC-RAS 5.0 모형 베타버전과 국내 홍수위험지도 작성 시 사용되는 FLUMEN 모형과의 비교를 통해 모형의 특징, 사용성, 적용성, 결과의 정확성 등을 평가하였다. 본 연구를 통해 얻은 결과는 향후 HEC-RAS 5.0 모형이 안정되어 서비스 되면 외수침수범람해석과 관련된 사업과 연구 등 다방면에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract Recently, the flood frequency and magnitude have increased due to heavy rainfall. Considering the present condition, a flood risk map has been published in many countries to raise awareness about flood damage to people. A flood inundation analysis model, which is used to publish the flood risk map, can be classified as river and inland inundation models according to the inundation cause. Although a variety of flood inundation analysis models are utilized both domestically and overseas, their usability is limited by the expensive price, except for the HEC-RAS model developed by U.S. Army Corps of Engineers (USACE). In the situation, the USACE has developed a 2-D HEC-RAS model that can be linked to the existing 1-D model. This model has been released as a beta version under the name, HEC-RAS 5.0. In this study, the HEC-RAS 5.0 model's features, usability, applicability, and accuracy were evaluated by comparing the performances on Gokgyo-cheon with the FLUMEN model, which is used for domestic flood risk mapping. The results of this study will contribute to river inundation analysis in many different ways after the HEC-RAS 5.0 model is stabilized.

Keywords : Flood Risk Map, Inundation Analysis, HEC-RAS 5.0, FLUMEN

1. 서론

집중호우로 인한 홍수발생 빈도와 그 규모가 커지고 있다. 또한, 가속화되고 있는 국토개발로 홍수피해가 증가 전 세계적으로 급변하고 있는 기후로 가중되고 있는 되고 있는 것이 현실이다. 이러한 현상을 반영하여 우리

본 논문은 정부(국민안전처)의 지원으로 자연재해저감기술개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임[MPSS-자연-2013-62].

*Corresponding Author : Choon-Ho Lee(Dongbu Eng.)

Tel: +82-2-2122-6859 email: choono@dbeng.ac.kr

Received February 26, 2016

Revised (1st March 15, 2016, 2nd March 18, 2016, 3rd March 19, 2016)

Accepted April 7, 2016

Published April 30, 2016

나라를 포함한 미국, 유럽, 일본 등 국가에서는 향후 발생 가능한 극한 홍수로 발생할 수 있는 피해에 대한 위험성에 대한 인식을 국민에게 제고할 수 있는 홍수위험지도 제작이 이루어지고 있다. 홍수위험지도는 다양한 홍수범람해석모형을 통해 작성된다. 홍수범람해석모형은 침수원인에 따라 하천범람을 모의하는 외수범람해석 모형과 도시 내·배수 시스템 불량으로 인한 침수를 모의하는 내수범람해석모형으로 구분할 수 있다. 이 중 외수범람해석모형은 지배방정식, 해석기법, 해석자료형태 등에 따라 그 종류가 매우 다양하다. 대표적으로 HEC-RAS, MIKE11, FLDWAV 등의 1차원 모형, FLUMEN, MIKE21, FFC-5 등의 2차원 모형이 국내·외적으로 많이 사용되고 있다.

외수범람해석모형의 종류가 매우 다양함에 따라 각각의 모형의 적용성 비교 및 평가에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. Horritt 등(2002)은 HEC-RAS, LISFLOOD-FP, TELEMAC-2D 모형을 영국의 Severn 강에 적용하여 세가지 모형의 결과를 비교 검토하였다 [1]. Tayefi 등(2007)은 HEC-RAS와 확산파 방정식 기반의 2차원 모델링을 통해 영국 Wharfe 강에 대한 모의 및 결과를 비교 분석하였다[2]. 강수만 등(2007)이 전위 천을 대상으로 FLUMEN 모형을 이용하여 외수범람해석을 수행하였고, 실제 침수실적과 비교하였다[3]. 이기하 등(2010)은 지형데이터의 전처리 과정을 간략화하고, 모의수행시간을 단축할 수 있는 Raster 기반의 2차원 홍수범람해석모형을 개발하였으며 FLUMEN 모형을 이용해 분석한 결과와 비교하였다[4]. 조완희 등(2010)은 낙동강 지류인 금호강을 대상으로 FLUMEN 모형을 이용하여 침수해석을 실시하였고, USBR의 Downstream Hazard Classification Guidelines에 제시된 홍수위험 분류기준에 의거하여 홍수위험지도를 작성하는 연구를 수행하였다[5]. 최천규 등(2014)은 LISFLOOD 모형을 FLUMEN 모형에 의해 작성된 홍수범람도와 비교하여 LISFLOOD 모형의 적용성을 평가하였다[6].

하지만 선행 연구자료를 살펴보면 HEC-RAS 모형을 제외한 대부분의 외수범람해석모형은 고가의 상용 프로그램으로써 그 사용성이 제한되어 있는 것이 사실이다. 이러한 상황에서 과거 HEC-RAS 모형을 개발한 바 있는 미육군공병단에서는 현재 대표적인 1차원 모형인 HEC-RAS 모형과 연계 가능한 2차원 모형을 개발 중에 있다. 이 모형은 HEC-RAS 5.0이라는 명칭으로 2014년

1월 베타버전이 1차 공개되었고, 2015년 2월 개선된 2차 베타버전이 공개되었다. 만약 HEC-RAS 5.0 모형에 대한 사용성, 결과에 대한 정확성 등에 대한 평가가 완료된 후 서비스 된다면 향후 다양한 연구가 진행되는 데 많은 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 목적을 달성하기 위해 선공개된 HEC-RAS 5.0 베타버전을 대상으로 국내 홍수위험지도 작성 시 사용되는 FLUMEN 모형과의 비교를 통해 모형의 특징, 사용성, 적용성, 결과의 정확성 등을 평가하였다. 이 때 평가를 위한 시범지역은 삽교천으로 유입되는 곡교천으로 선정하였다.

2. 기본이론

2.1 FLUMEN 모형

FLUMEN(FLUvial Modelling ENgine) 모형은 천수방정식(shallow water equation)을 지배방정식을 사용하는 비정형 격자형태의 홍수범람해석모형이다. 하천의 합류지점이나 만곡 부분과 같이 수리학적으로 복잡한 해석에 적합한 모형이다. 국내에서는 홍수위험지도 제작에 2차원 범람해석모형으로 활용되고 있다. FLUMEN 모형은 Linux 운영체제에서 수행되며 복잡한 지형에서 wet/dry 해석을 안정적으로 수행할 수 있다. 또한, 상류 및 사류 해석이 가능하며 홍수범람해석, 댐붕괴 해석, 서식지 평가, 흐름해석 및 수리구조물의 설계 등에 이용된다.

FLUMEN 모형은 시간에 대하여 양해법으로 계산하며 Roe 기법(1차 정확도)에 의한 플럭스 차분 분할 기법을 활용한 불규칙 삼각격자망을 사용하여 범람해석을 수행한다. 바닥마찰은 Manning-Strickler 공식 또는 logarithmic friction law (대수법칙)을 이용해서 계산되며 유사의 퇴적/침식 및 제방붕괴를 해석하기 위한 이동상 모듈을 포함하고 있다. 수심 적분된 천수방정식의 보존형태는 아래의 식과 같으며, x와 y에 대한 플럭스 벡터와 소스벡터는 식(1), (2), (3)과 같다.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\partial G}{\partial y} + S = 0 \quad (1)$$

여기서, x, y 는 수평방향, t 는 시간, U 는 $(h, q, r)^T$ 의 변수 벡터, h 는 수심, q, r 은 단위폭당 유량이다.

$$E = \begin{pmatrix} q \\ \frac{q^2}{h} + \frac{q}{2}h^2 \\ \frac{qr}{h} \end{pmatrix}, G = \begin{pmatrix} r \\ \frac{qr}{h} \\ \frac{r^2}{h} + \frac{q}{2}h^2 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$E = \begin{pmatrix} 0 \\ gh \frac{\partial z_b}{\partial x} + \tau_{bx} \\ \rho \\ gh \frac{\partial z_b}{\partial y} + \tau_{by} \end{pmatrix} \quad (3)$$

여기서, g 는 중력가속도, ρ 는 유체밀도, z_b 는 하상고, τ_b 는 바다 전단응력이다. 바다 전단응력은 수심 적분된 유속과 관계가 있으며 수평방향 x 와 y 에 대한 바다 전단응력 계산은 다음 식(4)와 같이 계산된다.

$$\frac{\tau_{bx}}{\rho} = \frac{u \sqrt{u^2 + v^2}}{c_f^2}, \quad \frac{\tau_{by}}{\rho} = \frac{v \sqrt{u^2 + v^2}}{c_f^2} \quad (4)$$

여기서, $u = q/h$, $v = r/h$ 이다. 마찰계수는 경험공식인 Manning-Strickler식과 logarithmic friction law(대수법칙)에 의해 각각 식(5)과 (6)으로 다음과 같이 추정된다.

$$\text{Manning-Strickler } c_f = \frac{h^{1/6}}{n \sqrt{g}} = \frac{k_{st} h^{1/6}}{\sqrt{g}} \quad (5)$$

여기서, n 은 Manning 조도계수, k_{st} 는 k-Strickler 계수이다.

Logarithmic friction law(대수법칙)

$$c_f = 2.5 \ln \left(\frac{h}{k_s} \right) + 6.0 \quad (6)$$

여기서, k_s 는 등가조도 높이이다. FLUMEN 모형에서는 세 가지의 초기조건을 통하여 범람해석을 수행하며, FLUMEN 모형에 적용되는 초기조건은 다음 Table 1과 같다.

Table 1. Initial Conditions of FLUMEN Model

Type	Instruction
Dry Start	The flow variables (flow depth and velocity) are assumed to be zero over the whole model domain.
Hot Start	FLUMEN reads the flow variables from data stored by a previous run.
Polygon	The flow variables (flow depth or water level) are defined by closed polygons.

FLUMEN 모형에서 대상구간 경계에 범람흐름이 도달할 경우 사용자가 경계조건을 설정해야 한다. 경계조건이 없을 경우에는 비투과 상태로 경계조건이 설정되어 경계부분의 범람흐름이 0이 된다. 따라서 대상 구간 경계의 조건은 흐름 조건에 따라 정의되어야 하며 각 흐름 조건에 따라 필요한 경계조건의 수는 아래의 Table 2와 같다.

Table 2. The Number of Boundary According to the Flow Conditions

Flow Regime	Inflow Boundary	Outflow Boundary
Subcritical	2	1
Supercritical	3	0

2.2 HEC-RAS 5.0 모형

HEC은 기존 HEC-RAS의 1차원 부정류해석에 2차원 유체유동흐름해석 수행 기능을 추가하였다. 사용자는 Full Saint-Venant 방정식 또는 Diffusion Wave 방정식 기반의 2차원 부정류 해석 기능을 1차원 기능과 함께 사용할 수 있게 되었다. 아래 식(7)은 연속방정식, 식(8), (9)는 각각 x , y 방향의 모멘트 방정식으로 표시되는 2D Saint-Venant 방정식이다.

$$\text{Continuity eq. } \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (hu)}{\partial x} + \frac{\partial (hv)}{\partial y} = 0 \quad (7)$$

x momentum eq.

$$\frac{\partial (hu)}{\partial t} + \frac{\partial (hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial (huv)}{\partial y} + gh \frac{\partial h}{\partial x} = -gh \frac{\partial Z_b}{\partial x} - gn^2 u \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (8)$$

y momentum eq.

$$\frac{\partial (hv)}{\partial t} + \frac{\partial (huv)}{\partial x} + \frac{\partial (hv^2)}{\partial y} + gh \frac{\partial h}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_b}{\partial x} - gn^2 v \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (9)$$

여기서 h 는 수심, u 는 x 방향의 유속, v 는 y 방향의 유속, Z_b 는 바닥표고, g 는 중력가속도이다.

Diffusion Wave 방정식은 아래 식(10)과 같다.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (10)$$

여기서 c 는 \sqrt{gy} 이며 장파속도이다.

2차원 흐름 모의는 2차원 흐름 지역 요소를 기준 HEC-RAS에서 저수지역을 추가하는 방식과 동일하게 추가하는 방법으로 수행할 수 있다. 이는 2차원 흐름지역은 풀리콘을 그리는 방법으로 추가하고, 연산 메쉬를 생성한 다음 1차원 요소와 2차원 흐름 영역을 연결하거나 직접적으로 경계조건을 2차원 지역과 연결하여 구성 및 수행 가능하다. 기존의 대표적인 1차원 모형인 HEC-RAS 모형에 비해 2차원 모의가 가능한 HEC-RAS 5.0 모형의 특징과 이점을 정리하면 아래와 같다.

- 개별적인 1차원, 2차원 모의와 이들을 연계한 모의 가능
- 2차원 Saint-Venant 방정식 또는 2차원 Diffusion Wave 방정식 기반의 모의
- 2차원 부정류 방정식은 유한체적법 이용 계산 수행
- 1차원, 2차원 해석 동시 수행하여 두 요소간의 시간 별 피드백이 가능
- 비구조적 또는 구조적 메쉬 기반 모델링으로 상황에 따라 다양한 모양의 메쉬로 구현 가능
- 2차원 격자별 계산의 상세한 수리학적 속성 테이블 조회 가능
- 상세한 홍수 맵핑과 애니메이션 표출 가능
- 병렬처리 기반 다중 프로세싱 가능하여 속도 증가
- 64비트 기반 계산 수행이 가능하여 32비트보다 연산 속도가 빠르며 방대한 자료 처리 가능

3. 대상지역 및 모의사상 선정

3.1 대상지역 선정

본 연구에서 대상지역으로 선정한 곡교천은 삽교천의 제1지류로서 유역면적 542.14km^2 , 유로연장 49.47km 로 삽교천 본류 유역면적 ($A=1,645.09\text{km}^2$)의 약 33%를 하고 있으며 삽교천 유역의 북동쪽에 위치해 있다. 수원은 천안시, 세종특별자치시, 공주시의 경계인 국사봉 (EL.402.7m)에서 발원하여 산지협곡사이를 북서류 또는 북동류를 반복한 후 세종특별자치시 전의면 유천리 행정 교 지점에서 북북서류한 후 계속하여 흐르다가 천안시 풍세면 용정리에서 좌안쪽으로 유입하는 풍서천과 합류하여 유향을 서쪽으로 전환하여 흐르면서 여러개의 지류들과 합류하고 아산시 인주면 대음리와 선장면 신문리

경계지에서 본류인 삽교천 우안측으로 유입한다. 곡교천 중 본 연구에서 대상구간으로 선정한 곳은 곡교천 상류인 하천기본계획 기준 측점 No. 35 ~ 39 지점으로 하천 연장 2km를 선정하였다(삽교천수계(무한천, 곡교천) 하천기본계획(국토해양부 대전지방국토관리청, 2012))[7].

3.2 모의사상 선정

본 연구에서 대상구간으로 선정한 지역은 이미 홍수에 대비한 치수대책으로 제방이 설치되어 있는 곳으로 외수범람을 모의하기 위해 제방이 파괴되는 화제 시나리오를 가정하였다. 화제 시나리오를 적용하기 위한 화제 지점은 금강 홍수위험지도 제작 보고서(국토교통부, 2015)에서 곡교천 아산지구 홍수위험지도 작성을 위해 선정한 화제지점 중 BP4 지점과 동일하게 선정하였다. 금강 홍수위험지도 제작에서 곡교천 아산지구 홍수위험지도 작성을 위해 선정한 화제지점은 아래 Fig. 1과 같다[8].



Fig. 1. Asan District in Gokgyo-cheon

Source: Geumgang Flood Risk Mapping Report
(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2015)

외수범람모의를 위해 적용한 홍수사상은 우리나라 홍수위험지도 제작 시 적용되는 조건인 100년 빈도 홍수량, 200년 빈도 홍수량, 500년 빈도 홍수량, 하도 할당량 중 가장 큰 값인 500년 빈도를 적용하였다. 외수범람해석모형에 경계조건으로 적용한 상·하류단 경계조건은 아래 Fig. 2와 같다.

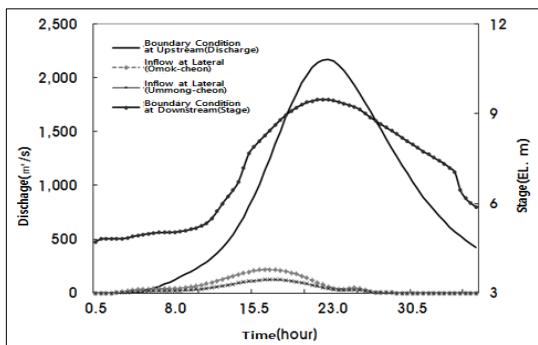


Fig. 2. Boundary Conditions of 500 Year Frequency at Upstream and Downstream

Source: Geumgang Flood Risk Mapping Report (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2015)

4. 모형 적용

4.1 FLUMEN 모형 적용

FLUMEN 모형을 이용한 외수범람 모의 시 지형자료 구축은 크게 경계불연속선인 Breakline을 작성하고, 불규칙 삼각격자망을 구성하는 것으로 구분할 수 있다. Breakline은 일정한 지형이 급격하게 변하는 층으로써 실제 지형지물로는 도로, 제방, 철도 등을 들 수 있다. 이러한 지형지물은 제내지 침수 시 물의 흐름에 지대한 영향을 미칠 것으로 판단할 수 있으며 따라서 Breakline으로 작성한 후 도심지, 농경지, 나대지 등 토지이용별로 적절한 불규칙 삼각격자망 간격을 정의하여 구성한다. 이후 지형자료로부터 각 삼각격자망에 표고값을 입력하고, 작성된 불규칙 삼각격자망을 검토하여야 한다. 불규

칙 삼각격자망 구성이 완료되면 Manning-Strickler식을 통해 산정한 토지특성별 조도계수를 부여하고, 특정 조도계수를 부여하려는 영역의 꼭지점 좌표를 텍스트 형태로 구축한다. 본 연구의 대상지역인 아산지구를 불규칙 삼각격자망으로 구성한 그림과 토지특성별 조도계수를 부여한 그림은 각각 Fig. 3와 Fig. 4이다.

4.2 HEC-RAS 5.0 모형

현재 HEC-RAS 5.0에서 지원되는 지형자료 형식은 레스터 파일 포맷인 tif, flt, adf 등이다, 기존 지형 DEM 자료를 Tiff 포맷으로 변환하여 제내지 지형으로 활용하였다. 제외지는 횡단면 자료를 이용하여 Tiff 파일을 작성하고, 두 Tiff 파일을 합성하여 Terrain Data를 구축하였다. 아래 Fig. 5은 HEC-RAS 5.0 모의를 위해 대상지역에 구축한 Terrain Data이다.

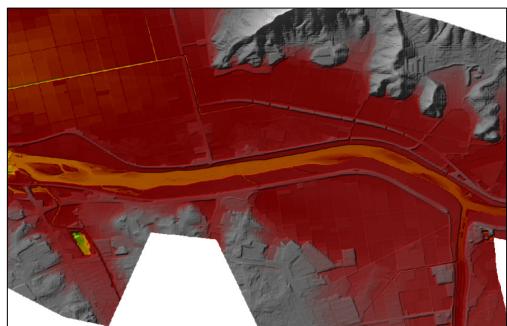


Fig. 5. Terrain Data of Tiff Form

지형자료 구축이 완료되면 2차원 모의를 수행할 지역을 격자망으로 구성한다. 범람을 모의할 2차원 구간을

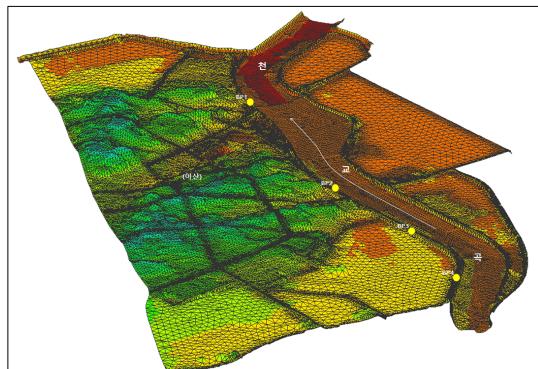


Fig. 3. Triangulated Irregular Network in Asan District

Source: Geumgang Flood Risk Mapping Report (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2015)

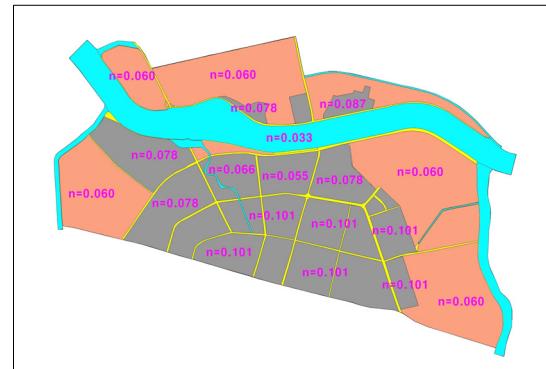


Fig. 4. Roughness in Asan District

Source: Geumgang Flood Risk Mapping Report (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2015)

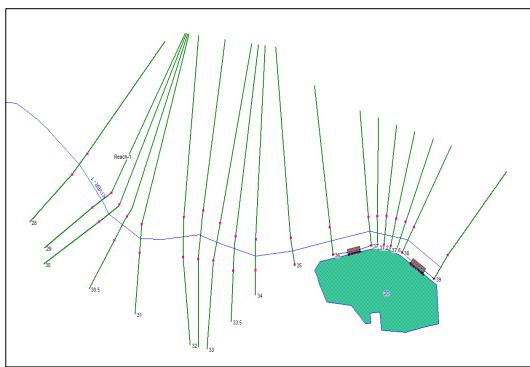


Fig. 6. Geometric Data in Asan District

제방과 인접하여 자유롭게 Drawing 한 후, 격자 크기를 지정하면 사각형 기준의 격자가 생성된다. 이때 경계면의 불규칙 형상은 다각형(3각형 ~ 8각형)으로 자동으로 처리된다. 아래 Fig. 6는 하천은 1차원 모의, 제내지는 2차원 모의를 수행하기 위해 구성한 Geometric Data이고, Fig. 7은 각 측선의 횡단자료이다.

제내지의 2차원 모의는 1차원 계산 시 경계조건이 활용되며, 2차원의 경계조건은 1차원 해석 결과와 연결(Connecting) 조건으로 볼 수 있다. 연결 조건은 제방과 파제 개념의 횡월류 구조물(Lateral Structure)을 통한 연결, 1차원 상류에 2차원 하류 직접 연결 혹은 그 반대의 적용 연결, 수공 구조물(Hydraulic Structure)을 통한 연결 등이 있다. 또한 2차원 구간에 직접 경계조건을 입력할 수 있으며, 조건의 형태는 수위-유량곡선, 수위곡선, 등류 수심 등이 있다. HEC-RAS 5.0 모형은 1.5-D의 개념으로 하도 내 홍수위만을 1차원으로 모의하고, 파제 시나리오는 FLUMEN 모형과 동일한 조건으로 파제지점으로 유입되는 홍수량은 2차원으로 모의하였다.

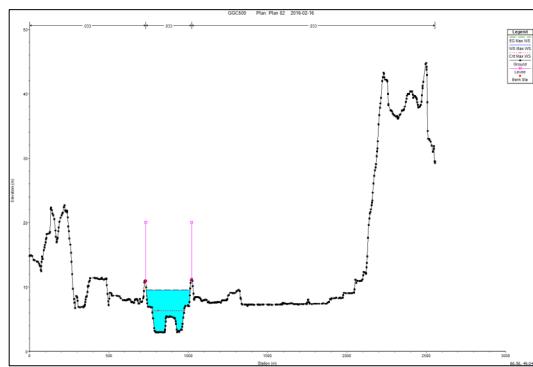


Fig. 7. Cross Section Data in Station

4.3 모의결과 비교

각 외수범람해석모형 결과를 비교하기 위해 격자별로 산정된 침수심 결과를 홍수위험지도 기본계획(국토해양부, 2008)[9]에 준하여 구간별로 나누어 그림으로 나타내었다. 본 연구의 대상지역의 파제 조건 시 500년 빈도 홍수량일 경우를 가정하여 모의한 결과는 아래 Fig. 8과 Fig. 9와 같다.

육안으로 확인할 경우 침수범위가 대동소이한 것으로 판단된다. 다음으로 침수심을 0.5m 단위로 구분하여 침수심별 침수면적 결과를 산정하고 두 모형간의 값을 비교하였다. 각 외수범람해석모형의 정량적 결과분석을 위해 침수심별 침수면적과 차이를 다음 Table 3와 Fig. 10으로 나타내었다.

HEC-RAS 5.0 모형을 이용하여 모의한 경우 전체침수면적은 0.844km²으로 FLUMEN 모형을 이용하여 모의한 경우보다 약 0.114km² 작게 산정되었다. 0.5m 간격의 침수심별 침수면적결과를 살펴보면 침수심 2.0~2.5m, 2.5~3.0m, 3.0~3.5m 구간에서 다소 큰 면적차를

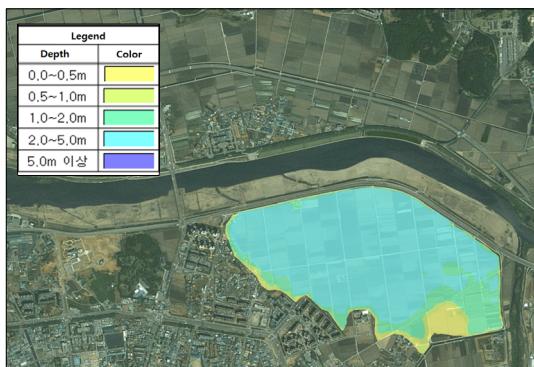


Fig. 8. Simulation Result using FLUMEN

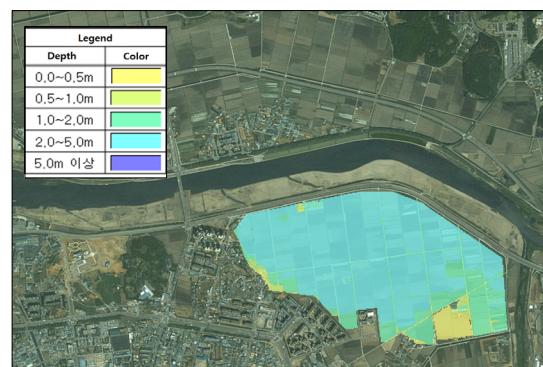


Fig. 9. Simulation Result using HEC-RAS 5.0

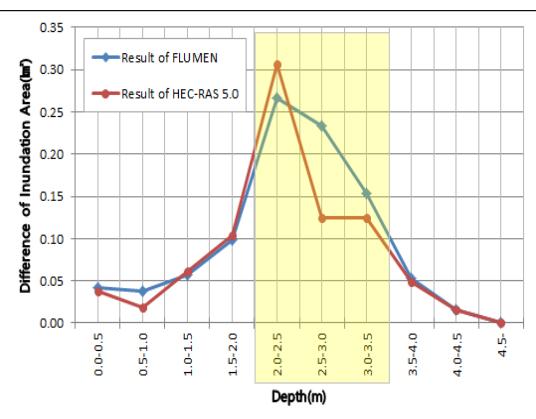
Table 3. Comparison of Inundation Area by Water Depth

Water Depth(m)	Inundation Area(km ²)		Area Difference
	FLUMEN	HEC-RAS 5.0	
0.0-0.5	0.042	0.038	0.004
0.5-1.0	0.038	0.019	0.019
1.0-1.5	0.057	0.062	0.004
1.5-2.0	0.098	0.105	0.006
2.0-2.5	0.267	0.306	0.039
2.5-3.0	0.233	0.125	0.108
3.0-3.5	0.154	0.125	0.029
3.5-4.0	0.053	0.049	0.004
4.0-4.5	0.016	0.016	-
4.5-	0.0001	0.0004	0.0003
Sum	0.958	0.844	0.114

보였다. 특히 침수심 2.5~3.0m 구간에서 차이가 0.108km²로 가장 큰 차이를 보이는 것으로 분석되었다.

5. 결론

본 연구에서는 국내 홍수위험지도 제작 사업에서 2차원 모의를 위해 사용되는 FLUMEN 모형과 미육군공병단에서 2차원 모의 모듈을 추가하여 새롭게 개발한 HEC-RAS 5.0 모형을 이용하여 곡교천 아산지구에 대한 500년 빈도 파제 시나리오를 모의하였다. 도출된 결과를 활용하여 정확성을 비교하고, 모의 과정에서 얻은 사용성과 적용성 등을 평가하였다. 본 연구를 수행하여

**Fig. 10.** Comparison of Inundation Area by Water Depth

도출한 결론은 아래와 같다.

1) FLUMEN 모형을 이용하여 대상지역의 외수침수를 모의한 결과 0.958km²가 침수되었고, HEC-RAS 5.0 모형을 이용하여 모의한 결과 0.844km²가 침수되는 것으로 분석되었다. 이는 0.114km²의 차이를 보였으나 육안으로 구별하기 힘들 정도로 대동소이한 결과로 판단된다.

2) 두 모형을 이용하여 모의한 침수심 결과를 0.5m 간격으로 구분하고, 침수심별 침수면적을 비교하였을 때 침수심별 침수면적의 양상은 비슷하였으나 침수심 2.0~2.5m, 2.5~3.0m, 3.0~3.5m 구간에서 비교적 큰 면적 차를 보였다. 특히 침수심 2.5~3.0m 구간에서 차이가

Table 4. Comparison of Inundation Analysis Model

Classification	FLUMEN	HEC-RAS 5.0
Summary	<ul style="list-style-type: none"> The model developed in Switzerland It's utilized in producing domestic flood risk map. The model simultaneously simulates a 2-D simulation in river and low-land. Governing Equation : 2-D St.Venant Equation Analysis Method : Finite Volume Method Applied Mesh : Triangulated Irregular Network Linux-based Model 	<ul style="list-style-type: none"> The model is developed beta version in U.S. Army Corps of Engineers(USACE) It's possible to analysis inundation connected 1-D and 2-D. It's possible to analysis inundation connected 1-D model in river and 2-D model in low-land. Governing Equation : 1, 2-D St.Venant Equation Analysis Method : Finite Difference Method Applied Mesh : Unstructured Mesh Windows-based Model
Utilization	<ul style="list-style-type: none"> The model applied to produce flood risk map in domestic for many years is validated. 	<ul style="list-style-type: none"> The model using river plan and design in domestic is secured the use base.
Usability	<ul style="list-style-type: none"> The pre-post processing is relatively complex. The calculation takes a long time. But it has been continuously improved. 	<ul style="list-style-type: none"> The pre-post processing is easy. The calculation takes relatively short time. The beta version of the model is expected to take a period of time to stabilize.
Applicability	<ul style="list-style-type: none"> It's possible to simulate the inundation process by levee overflow and disruption. It's possible to simulate the disruption scenario using Hot Start file. 	<ul style="list-style-type: none"> It's possible to simulate the inundation by applying a connecting model between river and low-land.

0.108km²로 가장 큰 면적차이를 나타내었다.

3) 침수심별 면적차를 비교 결과를 보면 FLUMEN 모형이 HEC-RAS 5.0 모형보다 침수심이 크게 산정되었고, 침수면적 또한 HEC-RAS 5.0 모형에 비해 넓게 산정되는 경향이 있는 것으로 판단된다. 두 모형간 오차가 발생하는 원인은 HEC-RAS 5.0 모형은 1.5-D의 개념으로 하도 내 홍수위만을 1차원으로 모의하고, 파체지점으로 유입되는 홍수량은 2차원으로 모의하기 때문으로 판단된다. 또한, 두 모형의 기반 격자 형태가 다름이 결과 차이를 보이는 큰 원인인 것으로 분석된다.

4) FLUMEN 모형과 HEC-RAS 5.0 모형을 이용하여 외수침수범람해석을 수행하며 활용성, 사용성, 적용성 측면에서 얻은 결론은 Table 4와 같다.

5) 본 연구를 통해 얻은 결과는 향후 HEC-RAS 5.0 모형이 안정되어 서비스 되면 외수침수범람해석과 관련된 사업과 연구 등 다방면에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

References

- M. S. Horritt, P. D. Bates, "Evaluation of 1D and 2D Numerical Models for Predicting River Flood Inundation", Journal of Hydrology, Vol.268, No.1, pp. 87-99.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s0022-1694\(02\)00121-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0022-1694(02)00121-x)
- V. Tayefi, S. N. Lane, R. J. Hardy, D. Yu, "A Comparison of One and Two-dimensional Approaches to Modelling Flood Inundation Over Complex Upland Floodplains", Hydrological Processes, Vol.21, No.23, pp. 3190-3202.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.6523>
- S. M. Kang, M. J. Park, S. H. Kim, S. J. Kim, "A Study on the Mitigation of Inundation Damage Using Flood Inundation Analysis Model FLUMEN - For the Part of Jinwicheon Reach", Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol.27, No.6, pp. 583-590, 2007.
- W. H. Cho, K. Y. Han, K. H. Ahn, "Flood Risk Mapping with FLUMEN Model Application", Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol.30, No.2, pp. 169-177, 2010.
- K. H. Lee, S. S. Lee, G. S. Jung, "Development of a Raster-based Two-dimensional Flood Inundation Model", Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, Vol.10, No.6, pp. 155-163, 2010.
- C. G. Choi, Y. S. Choi, G. T. Kim, "Comparison and

Evaluation of the Inundation Areas by Levee Breaching using LISFLOOD", Journal of Korean Wetlands Society, Vol.16, No.3, pp. 383-392, 2014.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17663/jwr.2014.16.3.383>

- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Sapkyo-cheon Watershed River Master Plan Report, 2012.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Geumgang Flood Risk Mapping Report, 2015.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Flood Risk Maps Master Plan Report, 2008.

이 춘호(Choon-Ho Lee)

[정회원]



- 1997년 2월 : 경희대학교 토목공학과 (토목공학사)
- 2007년 6월 : 수자원개발기술사
- 1996년 12월 ~ 현재 : 동부엔지니어링(주) 상무

<관심분야>
수공학

이태근(Tae-Geun Lee)

[정회원]



- 2011년 8월 : 아주대학교 건설시스템공학과 (토목공학사)
- 2013년 8월 : 아주대학교 일반대학원 건설교통공학과 (수공학석사)
- 2013년 7월 ~ 현재 : 동부엔지니어링(주) 대리

<관심분야>
수공학, 측량/GIS