

# 광역 지표면 범람해석

2020.10.10

한국건설기술연구원

(주)헤르메시스



## - 목 차 -

1. 서론 .....	1
2. G2D 모형 .....	2
3. 위성강우를 이용한 침수해석 .....	8
4. GRM 모형의 모의결과를 이용한 경계조건 설정 .....	9
5. 메콩강 하류 지역의 침수모의 .....	11
참고문헌 .....	20
부록1. G2D 프로젝트 파일(.g2p)의 상세사항 .....	21



## 1. 서론

- 침수해석은 도시 지역과 같이 지하공간을 포함하는 복잡한 지표면을 구성하고 있는 지역과 지형의 고도만을 고려하여 침수현상을 해석할 수 있는 지역으로 구분될 수 있음
- 침수해석 대상 지역의 특성과 침수해석 목적에 따라서 침수해석을 위한 모델을 선정해야 하며, 일반적으로 복잡한 지역의 고정확도 해석을 위해서는 고정확도 침수해석 모형이 적용되고, 단순한 지역에서는 격자 구성과 지배방정식이 보다 단순한 모형을 적용 할 수 있음
- 본 기술보고서에서는 해외 미계측지역에서 넓은 지표면에 발생하는 침수현상을 모의하기 위한 기법을 포함하고 있음
- 본 기술보고서에서는 정형사각형 격자 기반의 2차원 침수해석 모델인 G2D (Grid based 2-Dimensional land surface flood model) 모형을 이용한 침수해석 기법을 기술하고자 함
- G2D 모형의 이론, 매개변수, 입출력 자료 등에 대한 상세 사항은 G2D 매뉴얼 (최윤석과 김경탁, 2019)을 참고할 수 있음

## 2. G2D 모형

### 1) G2D 모형의 개요

- G2D(Grid based 2-Dimensional land surface flood model)는 유량 혹은 강우에 의한 침수를 모의하는 것을 목적으로 함
- 계산의 최소 단위인 제어체적은 정형 사각형 격자를 이용하며, DEM을 이용하여 모의 대상 영역에 대해서 정형 사각형 격자로 구성된 domain을 구축함
- Domain 내에 있는 임의 격자에 유량(혹은 수심)을 경계조건으로 설정하거나, 전체 domain에 대해서 강우를 적용하여 2차원 침수모의를 할 수 있음
- G2D 모형은 지표면 흐름만 모의하며, 토양으로의 침투와 증발산은 계산하지 않음
- 지배방정식의 공간적 이산화는 유한체적법을 이용하고 있으며, 시간적 차분은 음해법을 사용함

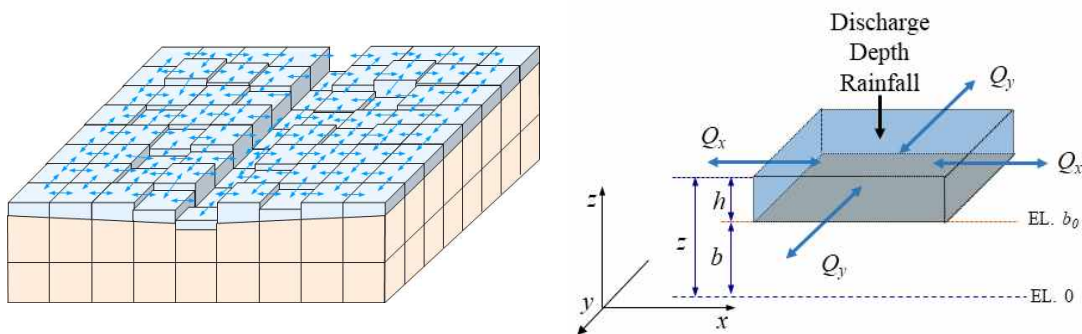


그림 2.1 제어체적의 구성 및 질량의 입출력

## 2) 지배방정식

- 지표면의 2차원 흐름해석을 위해서 연속방정식과 운동량방정식으로 지배방정식을 구성함
- 이때 운동량방정식은 동역학과 방정식에서 이송가속도 항을 제외함(diffusion wave(+) 혹은 dynamic wave(-) equation)

$$\frac{dh}{dt} + \frac{dq_x}{dx} + \frac{dq_y}{dy} = s \quad (1)$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + gh \frac{\partial h}{\partial x} - gh(S_{bx} - S_{fx}) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + gh \frac{\partial h}{\partial y} - gh(S_{by} - S_{fy}) = 0 \quad (3)$$

$$S_{fx} = \frac{u^2 n^2}{h^{4/3}} \quad (4)$$

$$S_{fy} = \frac{v^2 n^2}{h^{4/3}} \quad (5)$$

여기서  $q_x$ 와  $q_y$  :  $x$ 와  $y$  방향의 단위 폭 당 유량,  $t$  : 시간,  $s$  : 생성 항,  $g$  : 중력가속도,  $h$  : 수심,  $S_{bx}$ 와  $S_{by}$  :  $x$ 와  $y$  방향의 지면경사,  $S_{fx}$ 와  $S_{fy}$  :  $x$ 와  $y$  방향의 마찰경사,  $u$ 와  $v$  :  $x$ 방향 유속과  $y$ 방향 유속,  $n$  : 조도계수

- 수심을 이용한 운동량방정식(식 (2)와 (3))을 수위를 이용해서 다시 작성하고, 마찰경사 계산에 Manning 식(식 (4)와 식(5))을 적용하면,  $x$ ,  $y$  방향에 대한 운동량방정식은 다음과 같이 작성할 수 있음

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{gh \partial z}{\partial x} + \frac{gn^2 q_x^2}{h^{7/3}} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{gh \partial z}{\partial y} + \frac{gn^2 q_y^2}{h^{7/3}} = 0 \quad (7)$$

여기서  $z$  : 수위( $h+b$ ),  $b$  : 지면고

### 3) 이산화방정식

- 제어체적의 위치는 변수의 아래첨자  $(i, j)$ 로 표시하며, 제어체적의 중심부를  $p$ , 제어체적의 왼쪽 면을  $w(-x$  방향), 제어체적의 오른쪽 면을  $e(+x$  방향), 제어체적의 위쪽 면을  $n(-y$  방향), 제어체적의 아래쪽 면을  $s(+y$  방향)로 표시

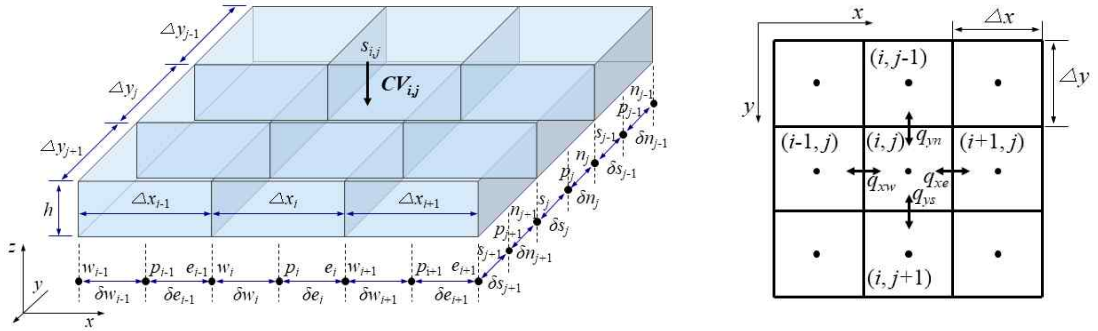


그림 2.2 공간적 이산화를 위한 제어체적 설정

- 연속방정식을 제어체적  $CV_{i,j}$ 에 대해서  $x, y$ 와 음해법으로 시간항에 대해 적분 한 후 이산식을 작성하면 다음 식과 같음

$$h_{i,j}^{t+\Delta t} - h_{i,j}^t + \{q_{xe} - q_{xw}\}^{t+\Delta t} \frac{1}{\Delta x} \Delta t + \{q_{ys} - q_{yn}\}^{t+\Delta t} \frac{1}{\Delta y} \Delta t - s_{i,j}^{t+\Delta t} \Delta t = 0 \quad (8)$$

여기서  $s_{i,j}$  : 생성 항,  $\Delta t$  : 계산시간 간격

- 운동량방정식은 하나의 제어체적  $CV_{i,j}$ 와 이와 인접한 제어체적(예를 들어, 오른쪽으로 인접한 제어체적은  $CV_{i+1,j}$ )을 이용하여 엇갈린 격자망으로 해석
- $CV_{i,j}$ 에서  $e$  방향으로의 유량을 계산하는 식은 아래와 같고,  $w, s, n$  방향에 대해서도 같은 방법으로 식을 작성할 수 있음
- 운동량방정식에서 계산된 각 방향의 유량은 연속방정식에 입력되어  $CV_{i,j}$ 의 흐름 계산에 이용됨



$$q_{ei}^{t+\Delta t} - q_{ei}^t + \frac{g(h_f)_i \Delta t (z_{i+1} - z_i)^{t+\Delta t}}{\Delta x} + \frac{gn^2 \Delta t q_{xi}^{t+\Delta t} |q_{xi}^t|}{(h_f)_i^{7/3}} = 0 \quad (9)$$

여기서  $h_f$  : 두 제어체적간 흐름의 수심

- ▣ 정형 사각격자 기반의 모형의 제어체적 바닥(지면)의 고도는 연속적이지 않고, DEM 고도로부터 불연속적인 값을 가짐. 그러므로 인접한 두 격자 A, B 간의 흐름을 계산할 때 흐름의 수심( $h_f$ )은 각 격자의 지면고와 수위를 이용해서 아래와 같이 계산됨

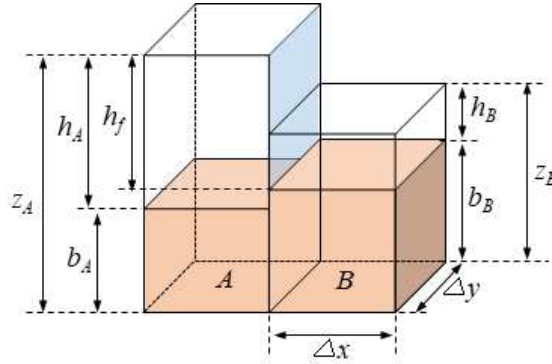


그림 2.3 수심, 수위, 지면고, 흐름수심의 관계

$$h_f = (|z_{A,B}|_{\max} - |b_{A,B}|_{\max}) \quad (10)$$

- ▣ 계산시간 간격은 계산이 진행되는 중에 아래의 CFL (Courant-Friedrichs-Lewy) 조건을 이용해서 설정됨

$$\Delta t \leq \frac{C \times \Delta x}{V_{\max}} \quad (11)$$

여기서  $C$  : Courant number,  $V_{\max}$  :  $t$  시간에서 계산된 전체 격자에서의 유속 중 최댓값,  $\Delta t$  :  $t + \Delta t$  시간에서 적용되는 계산시간 간격

#### 4) 토지피복 매개변수

- 토지피복 정보는 지표면 흐름의 계산을 위한 조도계수 설정에 사용됨
- Chow (1959), Engman(1986), Vieux(2004), 최윤석과 김경탁(2018) 등에 의해서 제안된 조도계수를 참고하여 지표면과 하도의 피복 상태별 조도계수를 적용할 수 있음
- G2D에서는 토지피복도를 이용해서 domain 내에 포함된 격자별로 각기 다른 조도계수를 설정하거나, 하나의 조도계수 값을 전체 격자에 적용하는 방법을 선택해서 사용할 수 있음
- G2D 모형은 땅 속으로의 물의 침투를 모의하지 않으므로, 토지피복에 상관없이 모두 불투수 영역으로 적용됨

#### 5) 입력자료

- G2D는 프로젝트 단위로 실행됨. G2D 모형의 프로젝트 파일은 .g2p의 확장자를 가지며, xml 형식으로 저장됨. G2D 프로젝트 파일에는 G2D 모형의 실행에 필요한 입력자료와 모의환경 변수, 모형 매개변수 등이 저장됨. 상세 사항은 부록 참고.
- G2D는 DEM을 이용하여 domain을 설정하고, 토지피복도를 이용해서 격자별 조도계수를 설정할 수 있음
- 수위와 수심을 초기조건으로 설정할 수 있으며, 수위, 수심, 유량을 경계조건으로 입력할 수 있음. 또한 침수해석시 강우자료를 적용할 수 있음
- DEM, 토지피복도, 분포형 강우는 ASCII 래스터 포맷을 가지는 파일로 입력됨
- 경계조건(수위, 수심, 유량)과 평균강우는 텍스트 파일로 입력됨
- 초기조건(수위, 수심)은 ASCII 래스터 포맷 파일 혹은 텍스트 파일로 입력됨

표 2.1 G2D 모형의 입력자료

구분	자료의 종류	파일 포맷	비고
지형	DEM		모의 대상 domain 구성
토지피복	토지피복도	ASCII raster	domain에 포함된 격자별 조도계수 설정
수문	강우	ASCII raster	ASCII 래스터 형식의 분포형 강우 시계열 혹은 텍스트 파일 형식의 domain 평균강우량 시계열 자료. 두 가지 중 하나를 선택해서 사용
		텍스트 파일	
	유량	텍스트 파일	경계조건
	수심	텍스트 파일	경계조건 혹은 초기조건
		ASCII raster	
	수위	텍스트 파일	경계조건 혹은 초기조건
		ASCII raster	

## 6) 출력자료

- G2D는 domain에 포함된 격자 중 수심이 있는 격자(유효 격자)에서 수심과 유속 등을 계산하며, 계산 결과는 ASCII 래스터 파일 혹은 이미지 파일로 저장됨
- 로그 파일에서는 계산시간 간격(dt), 계산에 사용된 시간, 유효 격자의 개수, 지정된 수심별 격자 개수 등을 기록
- 모의결과 파일은 선택적으로 출력 할 수 있음

표 2.2 G2D 모의결과 파일

출력파일	내용
[Project name]_Depth_[data time].out	수심 (m)
[Project name]_Height_[data time].out	수위 (m)
[Project name]_Discharge_[data time].out	유량 (m³/s)
[Project name]_Velocity_[data time].out	격자의 4방향 흐름 중 최대 유속 (m/s)
[Project name]_FDirection_[data time].out	최대 유속 방향 (1 : east, 3 : south, 5: west, 7 : north)
[Project name]_RFGrid_[data time].out	출력시간 간격 동안 계산에 사용된 강우량 (mm)
[Project name].log	모의 로그 파일 계산시간 간격(dt), 계산에 사용된 시간, 유효 격자 개수, 지정된 수심별 격자 개수 등

### 3. 위성강우를 이용한 침수해석

#### 1) 개요

- 침수모의 영역(domain)이 매우 넓어서, domain 내에서 발생한 강우량이 침수 양상에 중요한 영향을 미칠 것으로 판단되는 경우에는, 침수모의시 강우 조건을 적용해야 함
- G2D 모형은 domain 영역에서 내리는 강우를 침수해석시 생성항으로 적용할 수 있음
- 강우자료는 domain 영역에서의 평균강우량이 저장된 텍스트 파일 혹은 격자별로 각기 다른 강우량을 가지는 ASCII 래스터 파일을 사용할 수 있음
- 평균강우량을 적용할 경우에는 강우량 값이 저장된 텍스트 파일을 이용하고, ASCII 래스터 강우량을 적용할 경우에는 강우 래스터 파일과 그 목록이 저장된 텍스트 파일을 이용함
- 위성강우 자료는 래스터 형식의 자료이므로 이를 ASCII 래스터 형식으로 변환해서 적용해야 함

#### 2) G2D 모형의 옵션

- G2D에서 강우자료의 입력을 위한 옵션은 G2D 프로젝트 파일(.g2p) 중 ProjectSettings 테이블에서 RainfallDataType, RainfallDataInterval\_min, RainfallFile 3개의 요소(field, element)에서 설정함(부록 1 참고)
- ASCII 래스터 형식의 강우량 자료를 적용하기 위해서는 RainfallDataType 필드에는 'TextFileASCgrid'를 입력하고, RainfallDataInterval\_min에는 강우자료의 시간 간격(분), RainfallFile에는 강우량 ASCII 래스터 파일의 경로와 이름의 목록이 저장된 텍스트 파일을 지정해야함

**표 3.1 ASCII 래스터 형식의 강우자료 목록 파일**

---

강우자료 ASCII 래스터 파일의 경로와 이름1
강우자료 ASCII 래스터 파일의 경로와 이름2
강우자료 ASCII 래스터 파일의 경로와 이름3
⋮

---

- 이때 강우량 ASCII 래스터 파일의 해상도와 영역(행과 열의 개수)은 G2D 모형의 입력자료로 이용된 domain 래스터 파일과 같아야 함

## 4. GRM 모형의 모의결과를 이용한 경계조건 설정

### 1) 개요

- G2D 모형은 유량, 수위, 수심 등을 경계조건으로 사용하여 침수해석을 수행함
- GRM 모형의 중요한 모의결과인 유량은 G2D 모형의 경계조건으로 사용될 수 있음
- G2D 모형은 유량의 시계열 값이 저장된 텍스트 파일과 경계조건을 부여할 하나 이상의 격자의 열과 행의 번호(x, y)를 경계조건 설정시 지정함

표 4.1 G2D 모형의 유량 경계조건 파일의 형식

---

유량 값 1
유량 값 2
유량 값 3
.
.
.

---

- 정형 사각형 격자 제어체적으로 이용하는 모델에서는 격자의 해상도에 따라서 입력된 유량 경계조건의 수심이 서로 다르게 계산됨(즉, 같은 유량에서 격자의 크기가 작은 경우에는 격자의 크기가 큰 경우보다 수심이 크게 계산됨)
- 이와 같이 경계조건 설정 격자의 수심이 주변 격자와 큰 차이를 나타낼 경우에는 수치해석시 안정성을 크게 저하시킬 뿐만아니라, 계산시간 간격을 작게 부여함으로써 런타임이 길어지는 원인이 됨.
- 그러므로 domain을 구성하는 격자의 해상도와 경계조건으로 사용되는 유량의 크기를 고려하여, 수심이 과도하게 크게 환산될 경우에는 경계조건을 설정할 격자를 여러개 지정할 필요가 있음(G2D에서는 경계조건 유량을 대상 격자에 배분하여 모의함)

### 2) G2D 모형의 옵션

- G2D 모형에서 경계조건은 BoundaryConditionData 테이블에 있는 CellXY, DataType, DataFile 필드에서 설정함(부록 1 참고)

- CellXY
  - 경계조건을 입력할 격자의 위치(열, 행)를 나타냄
  - 좌상단(0,0)으로 부터 우측 및 하단 방향으로 번호가 부여됨
  - 여러 개 격자를 입력할 경우에는 "/"로 구분함 (예, 5, 10 / 125, 320 / 126, 320)
- DataType
  - 경계조건의 자료 종류를 나타내며, Discharge, Depth, Height 중 하나를 입력할 수 있음
  - GRM 모형에서 계산된 유량을 이용할 경우에는 'Discharge' 옵션을 입력해야 함
- DataFile
  - 경계조건 파일의 경로와 이름을 나타냄
  - 표 4.1의 형식으로 저장된 GRM 모형의 모의결과 파일의 전체 경로와 파일이름을 입력

## 5. 메콩강 하류 지역의 침수모의

### 1) 기본 자료

- G2D 모형은 DEM을 이용해서 모의 domain을 구축
- 지표면 조도계수 설정을 위한 토지피복도와 격자별 강우 자료는 필수 입력 사항이 아니며, 필요에 따라 사용할 수 있음
- DEM
  - HydroSHEDs(Hydrological data and maps based on SHuttle Elevation Derivatives at multiple Scales)에서 제공되는 DEM 적용 (<https://www.hydrosheds.org/>)
  - 수평 해상도 : 15 arc-seconds
- 침수모의 영역
  - 메콩강 하류 캄보디아 중앙부에 있는 톤레삽 호수는 홍수기에 메콩강 본류의 영향으로 수심이 높아지므로, 톤레삽 호수를 포함하도록 침수모의 domain 설정

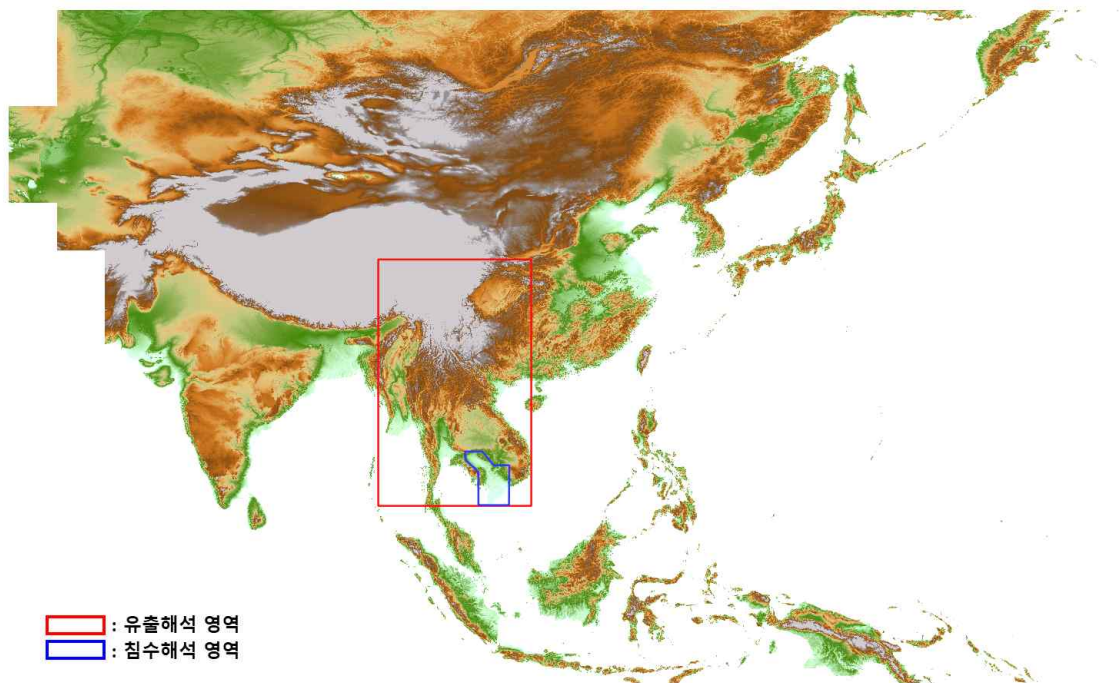


그림 5.1 HydroSHEDs DEM

## 2) 메콩강 지역 침수모의를 위한 기본 자료 처리

### ▣ 침수해석 domain box 구축

- 톤레삽 호수를 포함하도록 침수해석 영역 폴리곤 shp 파일 생성(좌표계 EPSG 32648) (mk\_G2D\_box\_32648.shp)

### ▣ DEM 준비

- 메콩강 지역의 DEM (hsDEM\_mkRegion\_32648.tif)을 이용해서 침수해석 영역 폴리곤에 맞게 clipping 실행(hsDEM\_G2DRegion\_ori\_32648.asc)
- 해상도는 450m × 450m로 리샘플링(hsDEM\_G2DRegion\_450\_32648.asc)
  - ALTEK의 [Raster file converter > Resample] 기능 이용
  - HydroSHED 원시 자료는 수직 공간해상도가 1m 이므로, resampling을 통해서 실수형 연속 자료로 구축
- 만들어진 DEM 파일을 C:\Mekong\W2\_G2D\domain\mk\_dem\_G2D\_32648.asc 와 C:\Mekong\W2\_G2D\domain\mk\_dem\_G2D\_32648.tif 파일로 복사 (ASCII 파일과 GeoTIFF 파일 모두 복사)

### ▣ DEM 수정

- 2차원 침수해석은 모의 domain을 구성하는 지표면 고도 값에 큰 영향을 받음
- 실제 지형과 시설물(도로, 철도 등)을 잘 반영하고 있는 고해상도 DEM은 그대로 모의에 사용할 수 있으나, 광역 지표면 침수해석을 위해서는 DEM을 저해상도로 변환해서 사용하는 것이 일반적임
- 저해상도 DEM은 지표면 침수양상에 영향을 미치는 지형정보가 반영되기 어려운 한계가 있음
- 그러므로, 위성영상과 같이 지형지물의 판단이 가능한 자료를 이용해서 저해상도 DEM을 수정하거나, 침수모의를 반복적으로 수행하면서 침수모의 결과를 보완할 수 있도록 DEM을 수정하는 과정이 필요함
- 주요한 DEM 수정 항목은 상류단 경계조건 입력 격자 상류지역으로 흐름이 발생되지 않게 하기 위한 고도 수정, 하도 흐름을 재현하기 위한 고도 수정, 제방 부분의 고도 수정, 기타 DEM 오류 수정을 위한 고도 수정 등을 포함



▣ DEM 값 수정 도구

- QGIS Multi-cell Edit plug-in GeoTIFF 파일에서 다수의 래스터 셀 값을 수정하기 위한 도구임

(<https://github.com/floodmodel/Multi-CellValueEdit>)

- QGIS Multi-cell Edit plug-in은 다수의 셀을 선택하기 위한 다양한 도구를 제공하고 있으며, 특정 고도로 수정 및 특정 값이나 비율만큼 증감이 가능함
- 침수모의 domain을 구성하는 DEM에서 다수 셀 값의 수정은 QGIS Multi-cell Edit plug-in을 사용하여 효과적으로 수행할 수 있음
- 셀 값을 하나씩 수정하고자 할 경우에는 QGIS Serval plug-in을 사용하는 것이 효율적임 (<https://plugins.qgis.org/plugins/Serval/>)

### 3) QGIS-G2D를 이용하여 G2D 모형 project 파일 만들기

- G2D 모형은 프로젝트 단위로 실행됨
- G2D 프로젝트 파일(.g2p)은 xml 형식으로 작성되며, 텍스트 에디터나 G2D 모형의 QGIS plug-in GUI인 QGIS-G2D를 이용해서 작성할 수 있음  
(QGIS-G2D는 현재 QGIS 3.8.x 버전에서 사용할 수 있음)

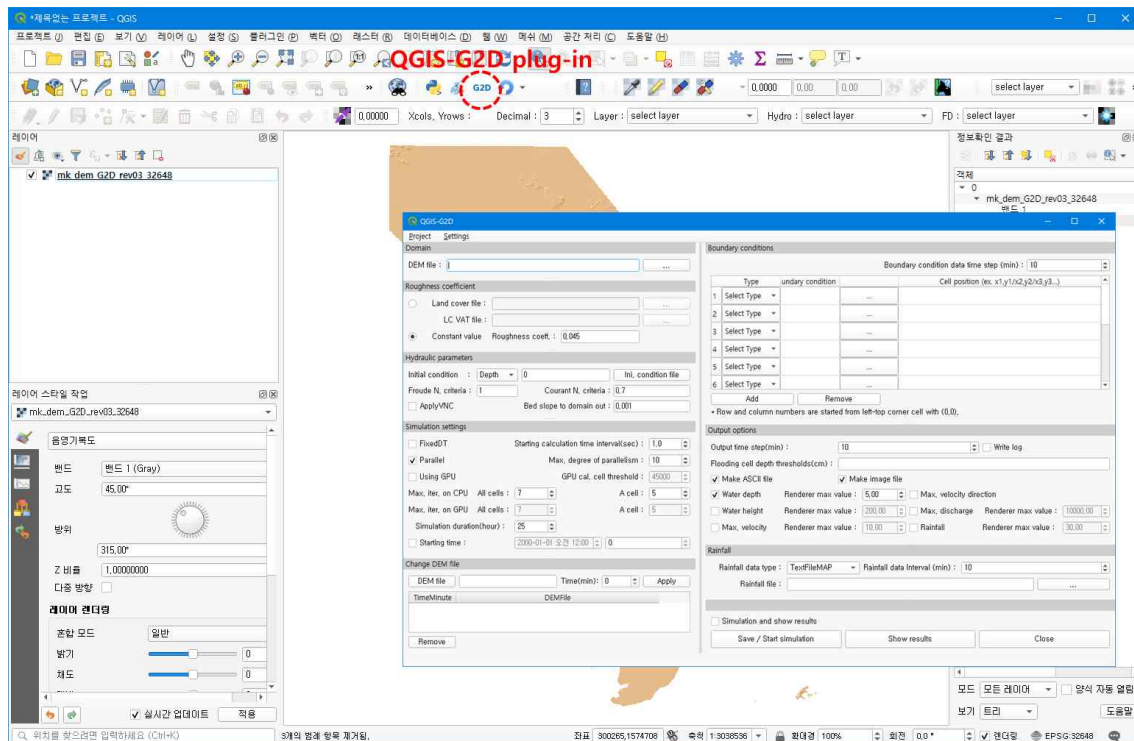


그림 5.2 QGIS-G2D와 DEM 파일이 업로드된 QGIS 화면

- G2D 모형의 domain으로 사용할 ESRI ASCII 래스터 파일(.asc)을 QGIS에 레이어로 추가(QGIS-G2D는 ASCII 래스터 파일을 이용해서 실행되므로 QGIS에 domain 파일을 레이어로 추가하는 것은 필수사항은 아님)
- G2D 모형의 모의결과는 ASCII 래스터 파일(.out)로 만들어지며, 이 모의 결과 파일의 좌표계는 domain 래스터 파일의 좌표계와 같은 좌표계로 설정되어야 함
- 그러므로 domain 래스터 파일의 좌표계 파일(.prj)을 domain 파일과 같은 폴더에 가지고 있는 것이 모의결과 후처리 과정에서 효율적임
- QGIS-G2D에 포함된 후처리 도구에서 배경 지도, 모의결과 래스터 파일의 스타일은 QGIS 스타일 파일(.qml)을 이용해서 지정됨
- 그러므로 domain과 모의결과 래스터 파일의 스타일을 default 값에서 변경하고 싶을

경우에는 QGIS를 이용해서 스타일 파일(.qml)을 만들어서 사용해야 함

- QGIS-G2D 실행
- [Project > New Project] 메뉴로 새 프로젝트 생성
- [New Project]를 실행하면 변수 중 일부가 default 값으로 입력됨

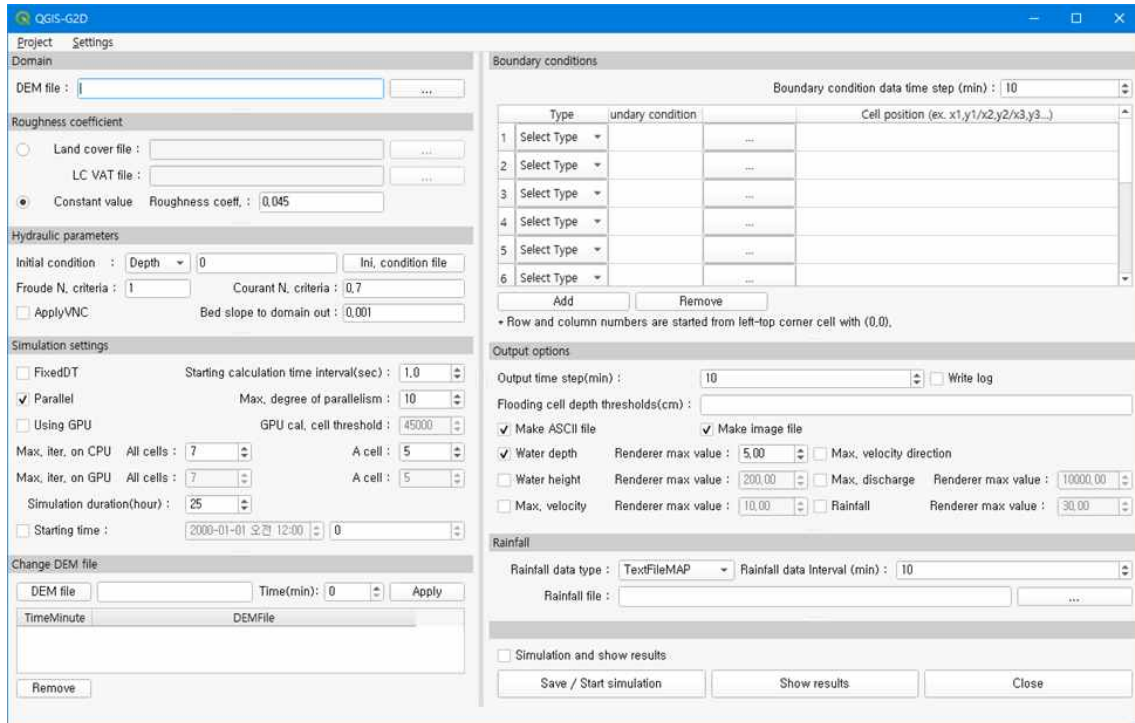


그림 5.3 QGIS-G2D New Project 실행 화면

- Domain 탭에서 DEM 파일(.asc) 선택
- Roughness coefficient 탭에서 조도계수를 설정할 방법 지정
- G2D에서 사용되는 지표면 조도계수를 설정하는 방법은 토지피복도를 이용하는 방법과 상수를 이용하는 방법이 있음
- Domain 내에 있는 격자별로 각기 다른 조도계수를 적용하고 싶을 경우에는 'Land cover file'을 선택하고, 토지피복 속성 값에 대응하는 조도계수가 입력된 VAT 파일을 토지피복도 파일과 같은 이름(확장자는 .vat)으로 저장함
  - VAT 파일은 텍스트 편집기로 작성할 수 있으며, "토지피복도 래스터 값, 속성이름, 조도계수"의 값이 저장되어야 함

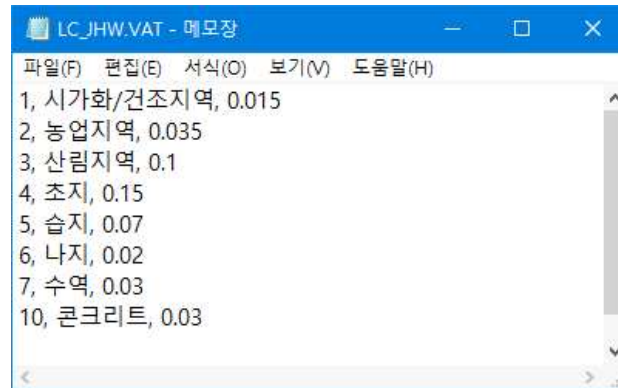


그림 5.4 토지피복도 VAT 파일 작성 사례

- Domain 내에 있는 모든 격자에서 같은 조도계수를 적용하고 싶을 경우에는 'Constant value'를 선택하고, 조도계수 값을 입력
  - Hydraulic parameters 탭에서 각 매개변수 입력
- 초기조건의 종류(수위 혹은 수심)와 값을 입력
  - 초기조건 값으로 숫자가 지정되면, domain 내에 있는 모든 격자에서 같은 값이 적용됨
  - 초기조건 값으로 래스터 파일이 지정되면, 래스터 파일의 값으로 격자별로 각기 다른 초기조건 값이 적용됨
- Froude number 기준 값과 Courant number 기준 값, von Neuman stability condition의 적용 여부를 지정함
  - G2D 모델은 이송가속도항을 모의하지 않고 있으므로, Froude number는 1 이하의 값을 권장함
  - G2D 모델은 음해법으로 해석하므로, 계산시간 간격을 과도하게 작게 제한하지 않아도 안정적으로 계산이 가능함. Courant number는 계산시간 간격(dt) 설정에 영향을 미치는 매개변수로, 0.7~1 사이의 값을 권장하며, 모의결과와 평가에 따라서 더 작은 값을 적용할 수도 있음
  - 수치모의의 안정성이 낮을 경우에는 von Neuman stability condition (Apply VNC 옵션)을 추가로 적용할 수 있음. 일반적으로 이 조건을 적용하면 dt가 더 작아지고, 이에 따라서 모델 실행시간은 길어짐

- Domain 외곽 경계부에 있는 격자에서 domain 외부로 흐름이 발생할 경우, domain 외부로 향하는 지면 경사 입력
  - 0 이상의 값을 설정할 수 있으며, 실측된 지면경사를 적용하거나 모의결과의 검증 과정에서 적절한 값으로 설정 필요
  - Domain 외부로 흐름이 발생하는 지역이 하도 내의 구간으로 한정될 경우에는 실측된 하상경사를 적용할 수 있음
  
- Simulation settings 탭에서 각 변수 입력
  - 계산시간 간격 적용방법, 병렬계산 여부 및 옵션, 반복계산 제한 회수 등 설정
  - 모의 기간, 출력결과의 시간표시 방법 설정
  
- Change DEM file 탭에서 모의 진행 중에 교체할 DEM 파일 지정
  - G2D 모형이 실행되는 중에 domain DEM 파일을 변경하고 싶을 경우(파제 시나리오 적용 등) 사용
  
- Boundary conditions 탭에서 경계조건 설정
  - 경계조건의 시간 간격 입력
  - 경계조건의 종류는 유량, 수심, 수위를 선택해서 입력 가능
  - 경계조건 값은 시계열 값이 저장되어 있는 텍스트 파일을 선택
  - 경계조건이 부여될 격자의 위치를 입력하고, 하나의 경계조건 파일을 여러 개의 격자에 지정할 경우에는 각 격자를 '/' 로 구분함
    - 하나의 경계조건을 여러 개의 격자에 부여할 경우에는 입력된 경계조건 값이 각 격자에 배분되어서 모의에 적용됨
    - GRM의 모의 결과 중 watch point mk\_main의 유량은 GRM 유량 산정지점 인근에 있는 5개 격자에 배분(856, 352 / 857, 352 / 858, 352 / 859, 352 / 860, 352)
    - GRM의 모의 결과 중 watch point mk\_TonleSap의 유량은 톤레삽 호수 중앙부에 있는 3개 격자에 배분(368, 279 / 369, 279 / 370, 279)
  - 이때 격자의 위치는 래스터 파일의 좌상단을 (0, 0)으로 시작해서 좌측과 하단 방향으로 인덱스가 커지는 값을 입력
  - QGIS에서 래스터 레이어의 격자 위치 확인은 DEM Cell Editor plug-in을 이용하면 편리함

- Output options 탭에서 출력 옵션 지정
  - 모의결과의 출력 시간 간격 입력
  - 침수심별 기본 정보(평균침수심, 침수셀 개수 등) 출력을 위한 침수심 지정(여러개의 침수심을 지정할 경우에는 콤마(,)로 구분)
    - 침수심별 정보는 로그 파일(.log)에 기록됨
  - 출력 파일의 형식(ASCII 파일 혹은 이미지 파일) 선택
    - 출력 파일로 이미지 파일을 선택할 경우에는 이미지 파일의 스타일을 지정하기 위한 렌더러의 최대 값을 지정할 수 있음
  - 출력 파일의 데이터 종류 선택(수심, 수위 등)
  
- Rainfall 탭에서 강우 조건 입력
  - 모의 대상 domain이 아주 넓어서 domain 내에서 발생하는 강우량이 침수에 중요한 영향을 미치는 경우에는 강우량을 침수모의에 적용할 수 있음
  - 강우자료의 종류(ASCII 래스터 파일 혹은 유역 평균 강우량)와 시간 간격 입력
  - 강우자료가 저장된 파일 지정
    - 유역 평균 강우량을 적용할 경우에는 강우량이 저장된 텍스트 파일을 지정
    - ASCII 래스터 파일을 적용할 경우에는 ASCII 래스터 파일의 경로와 이름 목록이 저장된 텍스트 파일 지정
  
- [Save / Start simulation] 버튼을 클릭하여 모의 실행
  - [Save / Start simulation] 버튼을 클릭하면 입력된 정보가 프로젝트 파일(.g2p)에 저장되고 모의가 실행됨
  - [Simulation and show results] 옵션에 선택된 상태에서 [Save / Start simulation] 버튼을 클릭하면, 후처리 프로세스가 함께 실행됨

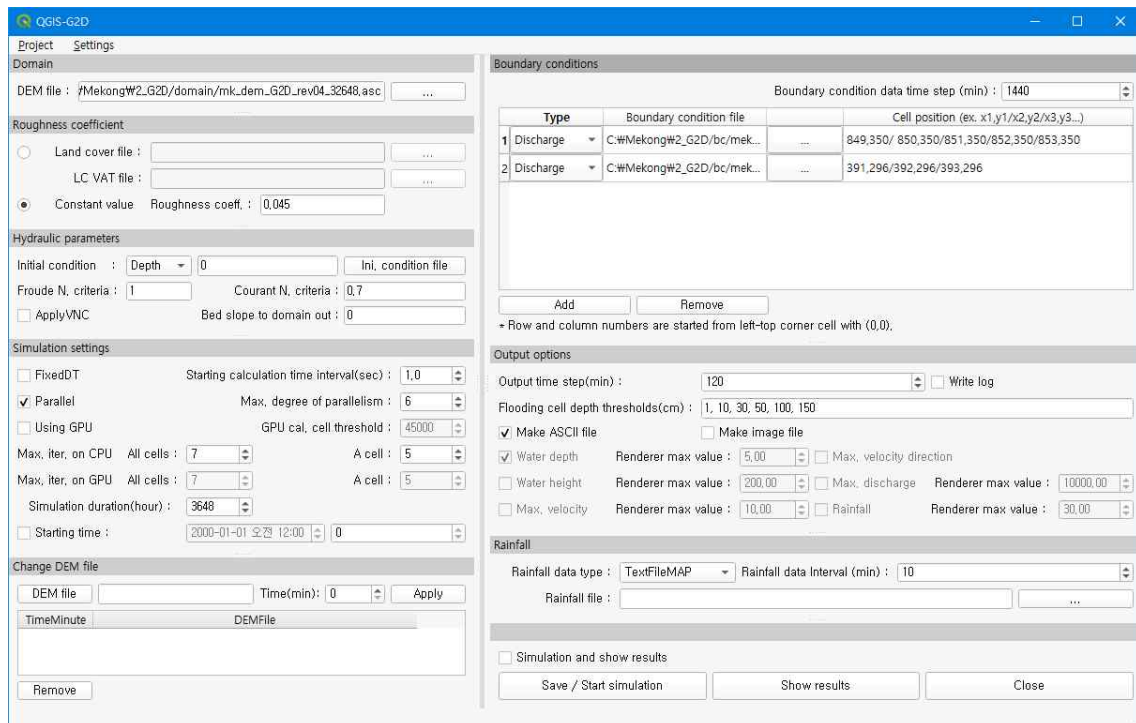


그림 5.5 메콩강 하류 지역 침수해석을 위한 QGIS-G2D 설정 값

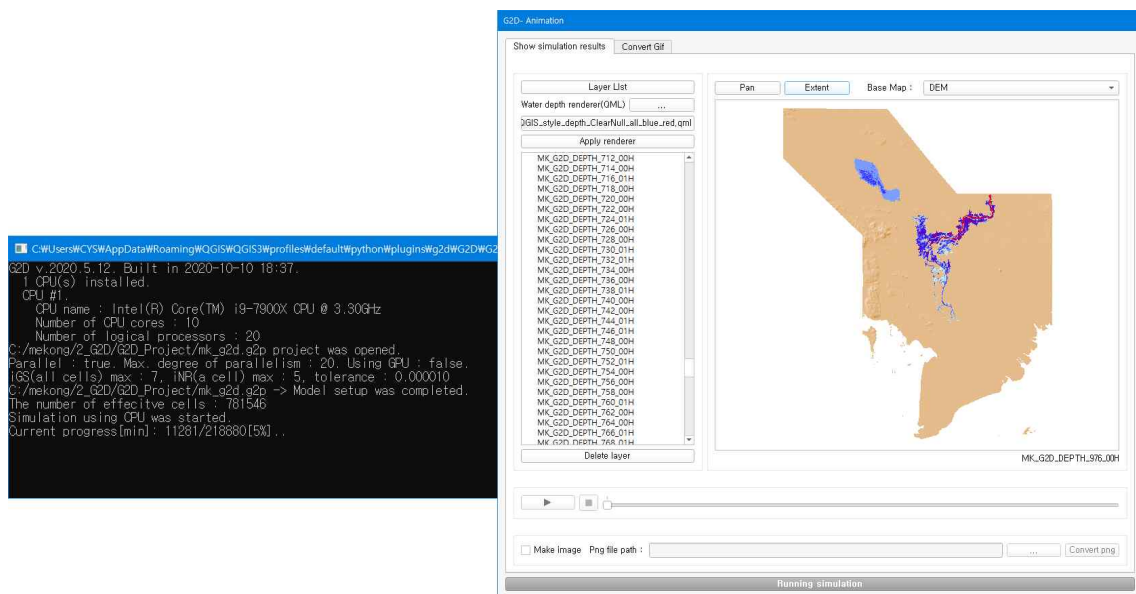


그림 5.6 QGIS-G2D에서 G2D 모델과 후처리 모듈 실행

## 참고문헌

최윤석, 김경탁. 2019. Grid based 2-Dimensional land surface flood model User's Manual. 한국건설기술연구원.

최윤석, 김경탁. 2019. Grid based Rainfall-runoff Model User's Manual. 한국건설기술연구원, 14-15.

Chow, V. T. 1959. Open-channel hydraulics. McGraw-Hill, 101-123.

Engman, E. T. 1986. Roughness coefficients for routing surface runoff. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 112(1): 39-53.

Vieux, B. E. 2004. Distributed Hydrologic Modeling Using GIS. Kluwer Academic Publishers.



## 부록1. G2D 프로젝트 파일(.g2p)의 상세사항

표 A1.1 프로젝트 xml 파일(.g2p)에서의 테이블 정의

테이블 명	설명	필수 여부
ProjectSettings	모형 실행을 위한 환경 변수, 입력파일 등 설정	필수
HydroPars	수리학적 매개변수, 초기조건 설정	필수
BoundaryConditionData	셀별 경계조건 설정	선택
DEMFileToChange	모의 진행 중에 교체할 DEM 파일 정보 설정	선택

표 A1.2 ProjectSettings 테이블 명세서

필드 명	설명	데이터 형식	필수 여부
DEMFile	모의 domain으로 사용할 DEM 파일의 경로와 이름	String	필수
LandCoverFile	토지피복도 파일의 경로와 이름	String	선택
LandCoverVatFile	토지피복도 파일의 속성별 조도계수가 명시된 VAT 파일의 경로와 이름	String	선택
StartDateTime	모의기간 시점. 시간 포맷이 설정된 경우에는 DateTime format으로 입력(예, 2012-09-16 12:00). 그렇지 않을 때는 0을 사용	String	필수
IsFixedDT	고정된 계산시간 간격의 사용 여부 (true 혹은 false)	String	필수
CalculationTimeStep_sec	계산시간 간격 (초)	Double	필수
IsParallel	병렬계산 여부 (true 혹은 false)	String	필수
MaxDegreeOfParallelism	최대 병렬계산 정도 (보통 PC의 논리 프로세서 개수를 적용함. -1을 적용할 경우는 모형에서 자동으로 최댓값을 사용함)	Integer	필수
UsingGPU	GPU 사용 여부 (true 혹은 false) NVIDIA 계열의 그래픽 카드를 사용할 경우에만 true를 적용할 수 있음	String	필수
EffCellThresholdForGPU	GPU를 이용한 계산을 시작할 셀 개수 기준 값	Integer	필수
MaxIterationAllCellsOnCPU	CPU를 이용한 계산에서 domain 전체 셀의 수렴을 위한 최대 반복계산 횟수 보통 5 ~ 20 사이의 값을 적용	Integer	필수
MaxIterationACellOnCPU	CPU를 이용한 계산에서 하나의 셀의 수렴을 위한 최대 반복계산 횟수 보통 5 ~ 20 사이의 값을 적용	Integer	필수
MaxIterationAllCellsOnGPU	GPU를 이용한 계산에서 domain 전체 셀의 수렴을 위한 최대 반복계산 횟수 보통 5 ~ 20 사이의 값을 적용	Integer	필수
MaxIterationACellOnGPU	GPU를 이용한 계산에서 하나의 셀의 수렴을 위한 최대 반복계산 횟수 보통 5 ~ 20 사이의 값을 적용	Integer	필수
SimulationDuration_hr	모의 기간 (시간)	Double	필수
PrintoutInterval_min	출력시간 간격 (분)	Integer	필수
RainfallDataType	강우자료 형식 (TextFileMAP 혹은 TextFileASCgrid)	String	선택
RainfallDataInterval_min	강우자료의 시간간격 (분)	Integer	선택
RainfallFile	강우자료가 저장된 파일의 경로와 이름	String	선택

<ProjectSettings 테이블 명세서(계속)>

필드 명	정의	데이터 형식	필수 여부
BCDataInterval_min	경계조건 자료의 시간간격 (분)	Integer	선택
FloodingCellDepthThresholds_cm	침수셀로 판단하기 위한 수심 기준 값 (cm)	String	필수
MakeASCFile	ASCII 파일 출력 여부 (true 혹은 false)	String	필수
MakeImgFile	이미지 파일 출력 여부 (true 혹은 false)	String	필수
OutputDepth	수심 출력 여부 (true 혹은 false)	String	필수
DepthImgRendererMaxV	수심 이미지 파일에서 렌더링 최댓값	Double	필수
OutputHeight	수위 출력 여부 (true 혹은 false)	String	필수
HeightImgRendererMaxV	수위 이미지 파일에서 렌더링 최댓값	Double	필수
OutputVelocityMax	유속 출력 여부 (true 혹은 false)	String	필수
VelocityMaxImgRendererMaxV	유속 이미지 파일에서 렌더링 최댓값	Double	필수
OutputFDofMaxV	흐름방향 출력 여부 (true 혹은 false)	String	필수
OutputDischargeMax	유량 출력 여부 (true 혹은 false)	String	필수
DischargeImgRendererMaxV	유량 이미지 파일에서 렌더링 최댓값	Double	필수
OutputRFGrid	출력 시간 간격 동안 사용된 강우의 출력 여부 (true 혹은 false)	String	필수
RFImgRendererMaxV	강우 이미지 파일에서 렌더링 최댓값	Double	필수
WriteLog	로그 기록 여부 (true 혹은 false)	String	필수

표 A1.3 HydroPars 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형식	필수 여부
RoughnessCoeff	Domain 표면의 조도계수 값 (토지피복도가 입력되지 않으면, 이 값이 계산에 사용됨)	Double	선택
DomainOutBedSlope	Domain 경계면에서 domain 외부로 향하는 지면 경사값	Double	필수
InitialConditionType	초기조건 형식 (Depth 혹은 Height)	Double	선택
InitialCondition	셀별 초기조건이 m 단위로 기록된 ASCII 래스터 파일의 경로와 이름	String	선택
	전체 셀에 같은 값으로 적용할 초기조건 값 (m)	Double	선택
FroudeNumberCriteria	Froude number 상한 값 만일 1보다 크지 않으면, 모든 흐름을 상류로 모의함	Double	필수
CourantNumber	Courant number 상한 값 0보다 크고, 1 이하의 범위를 가짐	Double	필수
ApplyVNC	dt 계산시 Von Neuman 조건 적용 여부 (true 혹은 false)	String	필수

표 A1.4 BoundaryConditionData 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형식	필수 여부
CellXY	경계조건을 입력할 셀의 위치 좌상단(0,0)으로 부터 번호 부여 최댓값은 (열의 개수 - 1, 행의 개수 -1) 여러 개 셀을 입력할 경우에는 "/"로 구분함 (예, 5, 10 / 125, 320 / 126, 320)	String	필수
DataType	경계조건의 자료 종류 Discharge, Depth, Height 중 택 1	String	필수
DataFile	경계조건 파일의 경로와 이름	String	필수

표 A1.5 DEMFileToChange 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형식	필수 여부
TimeMinute	DEM을 교체할 시간 (분) 모델링 시점에서 부터의 경과 시간	Integer	필수
DEMFile	DEM 파일의 경로와 이름	Integer	필수