

Grid based 2-dimensional land surface flood model User's Manual

최윤석, 김경탁

한국건설기술연구원 수자원하천연구본부

**v.G2D2022.04
2023.08**



한국건설기술연구원
KOREA INSTITUTE of CIVIL ENGINEERING and BUILDING TECHNOLOGY

History

G2D(Grid based 2-Dimensional land surface flood model)는 한국건설기술연구원에서 개발된 격자 기반의 2차원 지표면 침수해석 모형이다. G2D 모형의 개발 연혁은 다음과 같다.

- ▶ G2D 모형은 2017년에 처음 개발되었다.
- ▶ 2018년에는 모의 속도와 안정성이 향상되었다.
- ▶ 2019년에는 QGIS plug-in으로 GUI가 개발되었다.
- ▶ 2020년에는 C++로 작성된 G2D 모형이 개발되었다.
- ▶ 2021년에는 NVIDIA GPU를 이용하여 모의할 수 있는 기능이 개발되었다.

G2D 모형은 한국건설기술연구원에서 지속적으로 개발되고 있으며, 모형의 안정성 및 정확도 향상, 기능 추가, 모델링 S/W 개발 등이 진행되고 있다.

2021. 04.

목 차

1. G2D 모형의 개요	1
1.1 모형의 구조	1
1.2 지배방정식	2
1.3 지배방정식의 이산화	3
2. 토지피복 매개변수	5
3. 입력자료	6
3.1 DEM	7
3.2 토지피복도	7
3.3 수문자료	8
3.4 G2D 프로젝트 파일	10
4. 출력자료	14
참 고 문 헌	15
부 록	17
가. G2D 프로젝트 파일 사례	17
나. 실행환경 설정	19
다. 실행 파일, 샘플 자료	19
라. G2D 모형 실행 방법(Console window)	21

1. G2D 모형의 개요

1.1 모형의 구조

G2D(Grid based 2-Dimensional land surface flood model)는 유량 혹은 강우에 의한 침수를 모의하는 것을 목적으로 하고 있다. 계산의 최소 단위인 제어체적은 정형 사각형 격자를 이용하며, DEM을 이용하여 모의 대상 영역에 대해서 정형 사각형 격자로 구성된 domain을 구축 한다. Domain 내에 있는 임의 격자에 유량(혹은 수심)을 경계조건으로 설정하거나, 전체 domain에 대해서 강우를 적용하여 2차원 침수모의를 할 수 있다.

지표면 흐름 해석을 위한 지배방정식은 확산파 방정식에서 국지가속도항을 추가로 포함하는 확산파(+) 방정식(혹은 동역학파(-) 방정식)(diffusion wave(+) or dynamic wave(-) equation)을 이용한다. G2D 모형은 지표면 흐름만 모의하며, 토양으로의 침투와 증발산은 계산하지 않는다. 지배방정식의 공간적 이산화는 유한체적법을 이용하고 있으며, 시간적 차분은 음해법이 사용되었다. 비선형항에 대해서는 Newton-Raphson 방법을 이용하여 수렴해를 도출하며, 전체 제어체적의 수렴은 Gauss-Seidel 방법으로 계산한다(최윤석 등, 2019).

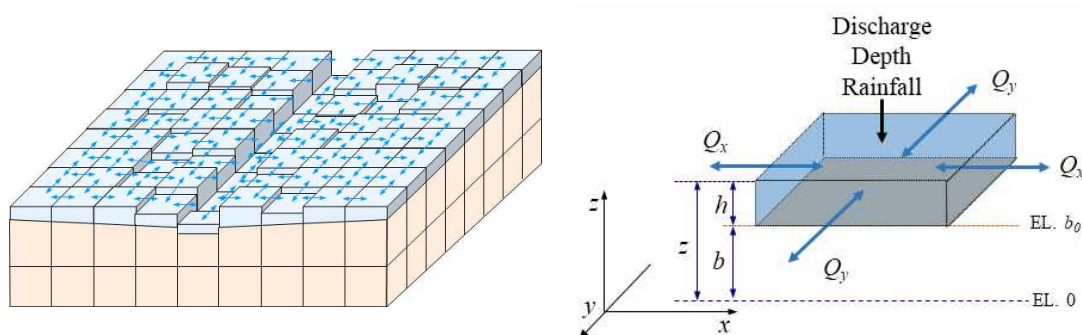


그림 1.1 제어체적의 구성 및 질량의 입출력

1.2 지배방정식

지표면의 2차원 흐름해석을 위해서 연속방정식과 운동량방정식으로 지배방정식을 구성하였다. 이때 운동량방정식은 동역학과 방정식에서 이송가속도 항을 제외하였다.

$$\frac{dh}{dt} + \frac{dq_x}{dx} + \frac{dq_y}{dy} = s \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + gh \frac{\partial h}{\partial x} - gh(S_{bx} - S_{fx}) = 0 \quad (1.2)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + gh \frac{\partial h}{\partial y} - gh(S_{by} - S_{fy}) = 0 \quad (1.3)$$

$$S_{fx} = \frac{u^2 n^2}{h^{4/3}} \quad (1.4)$$

$$S_{fy} = \frac{v^2 n^2}{h^{4/3}} \quad (1.5)$$

여기서, q_x 와 q_y 는 각각 x 와 y 방향의 단위 폭 당 유량, t 는 시간, s 는 생성 항, g 는 중력가속도, h 는 수심, S_{bx} 와 S_{by} 는 각각 x 와 y 방향의 지면경사, S_{fx} 와 S_{fy} 는 각각 x 와 y 방향의 마찰경사, u 와 v 는 각각 x 방향 유속과 y 방향 유속, n 은 조도계수를 나타낸다. 수심을 이용한 운동량방정식(식 (1.2)와 (1.3))을 수위를 이용해서 다시 작성하고, 마찰경사 계산에 Manning (식 (1.4)와 식(1.5))을 적용하면, x , y 방향에 대한 운동량방정식은 다음과 같이 작성할 수 있다.

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{gh \partial z}{\partial x} + \frac{gn^2 q_x^2}{h^{7/3}} = 0 \quad (1.6)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{gh \partial z}{\partial y} + \frac{gn^2 q_y^2}{h^{7/3}} = 0 \quad (1.7)$$

여기서, z 는 수위($h + b$), b 는 지면고를 나타낸다.

1.3 지배방정식의 이산화

G2D는 유한체적법을 이용하여 지배방정식을 공간적으로 이산화 한다. 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 표시한다. 연속방정식을 제어체적 $CV_{i,j}$ 에 대해서 x, y 와 시간항에 대해 적분 한 후 이산식을 작성하면 식 (1.8)과 같다. 이때 시간에 대한 이산화는 음해법을 적용하였다.

운동량방정식은 하나의 제어체적 $CV_{i,j}$ 와 이와 인접한 제어체적(예를 들어, 오른쪽으로 인접한 제어체적은 $CV_{i+1,j}$)을 이용하여 엇갈린 격자망으로 해석한다. $CV_{i,j}$ 에서 e 방향으로의 유량을 계산하는 식은 식 (1.9)와 같고, w, s, n 방향에 대해서도 같은 방법으로 식을 작성할 수 있다. 운동량방정식에서 계산된 각 방향의 유량은 연속방정식에 입력되어 $CV_{i,j}$ 의 흐름 계산에 이용된다.

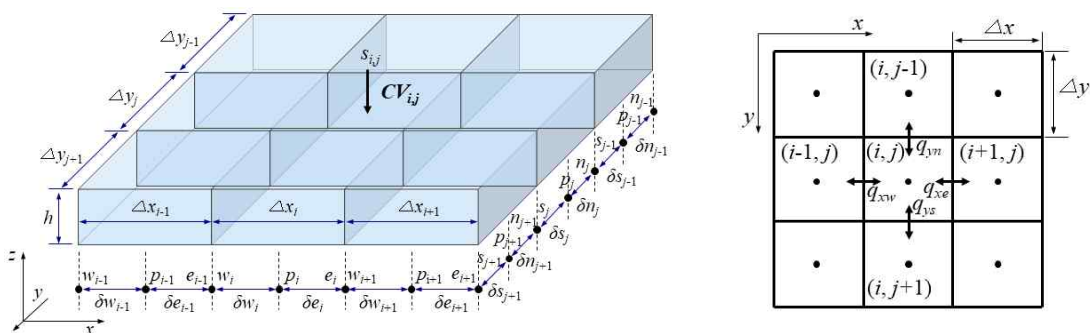


그림 1.2 공간적 이산화를 위한 제어체적 설정

$$h_{i,j}^{t+\Delta t} - h_{i,j}^t + \{q_{xe} - q_{xw}\}^{t+\Delta t} \frac{1}{\Delta x} \Delta t + \{q_{ys} - q_{yn}\}^{t+\Delta t} \frac{1}{\Delta y} \Delta t - s_{i,j}^{t+\Delta t} \Delta t = 0 \quad (1.8)$$

여기서 $s_{i,j}$ 는 생성 항, Δt 는 계산시간 간격을 나타낸다.

$$q_{ei}^{t+\Delta t} - q_{ei}^t + \frac{g(h_f)_i \Delta t (z_{i+1} - z_i)^{t+\Delta t}}{\Delta x} + \frac{gn^2 \Delta t q_{xi}^{t+\Delta t} |q_{xi}^t|}{(h_f)_i^{7/3}} = 0 \quad (1.9)$$

여기서 h_f 는 두 제어체적간 흐름의 수심을 나타낸다. 정형 사각격자 기반의 모형의 제어체적 바닥(지면)의 고도는 연속적이지 않고, DEM 고도로부터 불연속적인 값을 가진다. 그러므로 인접한 두 격자 A, B 간의 흐름을 계산할 때 흐름의 수심은 각 격자의 지면고와 수위를 이용해서 아래와 같이 설정된다.

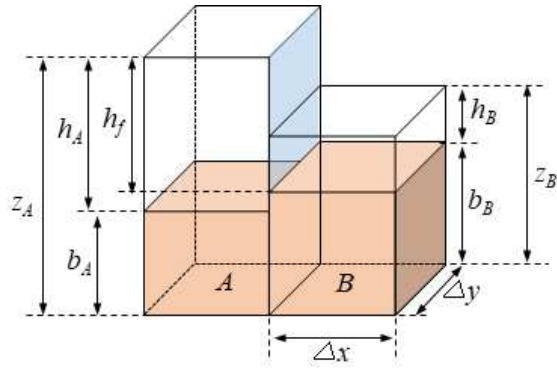


그림 1.3 수심, 수위, 지면고, 흐름수심의 관계

$$h_f = (|z_{A,B}|_{\max} - |b_{A,B}|_{\max}) \quad (1.10)$$

계산시간 간격은 계산이 진행되는 중에 아래의 CFL (Courant–Friedrichs–Lewy) 조건을 이용해서 설정된다.

$$\Delta t \leq \frac{C \times \Delta x}{V_{\max}} \quad (1.11)$$

여기서 C : Courant number, V_{\max} 는 t 시간에서 계산된 전체 격자에서의 유속 중 최댓값, Δt 는 $t + \Delta t$ 시간에서의 계산시간 간격을 나타낸다. 또한 수치해의 안정성을 높이기 위해서 von Neumann stability condition을 적용할 수도 있으며, 이때의 계산시간 간격은 아래와 같이 설정된다.

$$\Delta t = \frac{\Delta x^2}{4} \min \left(\frac{2n}{h_f^{5/3}} \left| \frac{\Delta z}{\Delta x} \right|^{1/2}, \frac{2n}{h_f^{5/3}} \left| \frac{\Delta z}{\Delta y} \right|^{1/2} \right) \quad (1.12)$$

2. 토지피복 매개변수

토지피복 정보는 지표면 흐름의 계산을 위한 조도계수 설정에 사용된다. G2D에서는 Chow (1959), Engman(1986), Vieux(2004), 최윤석과 김경탁(2018) 등에 의해서 제안된 조도계수를 참고하여 지표면과 하도의 피복 상태별 조도계수를 적용할 수 있다. 지표면에서의 불투수 영역은 지표면에 있는 물이 토양으로 침투되지 않는 영역을 의미한다. G2D 모형은 땅 속으로의 물의 침투를 모의하지 않으므로, 토지피복에 상관없이 모두 불투수 영역으로 적용된다.

3. 입력자료

G2D는 프로젝트 단위로 실행된다. G2D 모형의 프로젝트 파일은 .g2p의 확장자를 가지며, xml 형식으로 저장된다. G2D 프로젝트 파일에는 G2D 모형의 실행에 필요한 입력자료와 모의환경 변수, 모형 매개변수 등을 저장하고 있다.

G2D는 DEM을 이용하여 domain을 설정하고, 토지피복도를 이용해서 격자별 조도계수를 설정할 수 있다. 수위와 수심을 초기조건으로 설정할 수 있으며, 수위, 수심, 유량을 경계조건으로 입력할 수 있다. 또한 침수해석시 강우자료를 적용할 수 있다.

DEM, 토지피복도, 분포형 강우는 ASCII 래스터 포맷을 가지는 파일로 입력된다. 경계조건(수위, 수심, 유량)과 평균강우는 텍스트 파일로 입력된다. 초기조건(수위, 수심)은 ASCII 래스터 포맷 파일 혹은 텍스트 파일로 입력된다.

표 3.1 G2D 모형의 입력자료

구분	자료의 종류	파일 포맷	비고
지형	DEM	ASCII raster	모의 대상 domain 구성
토지피복	토지피복도		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	초기조건
	수위	텍스트 파일	경계조건 혹은 초기조건
		ASCII raster	초기조건

3.1 DEM

G2D는 DEM을 이용해서 침수해석 domain을 설정한다. 그러므로 홍수의 확산에 영향을 미칠 수 있는 지형의 기록이 잘 반영된 DEM을 이용해야 한다. 이를 위해서는 정확도가 높은 고해상도의 DEM을 이용하는 것이 좋다. 그러나 이와 같이 고해상도의 DEM을 이용할 경우에는 domain에 포함된 격자의 개수가 많아지므로, 계산 시간이 길어지게 된다. 그러므로 계산 소요시간과 지형 기록의 반영 정도를 함께 고려하여 DEM의 해상도를 결정해야 한다. 만일 저해상도의 DEM을 이용할 경우에는 제방, 도로 등과 같이 홍수전파에 중요한 영향을 미칠 수 있는 지형의 기록이 반영될 수 있도록 DEM의 고도를 수정한 후 사용해야 한다. DEM은 ASCII 래스터 포맷을 사용한다.

3.2 토지피복도

침수해석에 사용되는 지표면의 조도계수는 두 가지 방법으로 설정된다. 하나는 토지피복도를 이용하여 격자별로 각기 다른 조도계수를 설정하는 방법이고, 다른 하나는 전체 격자에서 하나의 조도계수를 이용하는 방법이다. 토지피복도는 정수로 된 토지피복 속성을 가지고 있는 ASCII 래스터 파일을 이용한다. 각 토지피복 속성에 해당하는 조도계수는 VAT(Value Attribute Table) 텍스트 파일을 통해서 G2D 모형에 적용된다. VAT 파일은 3개의 값(래스터 파일에 있는 토지피복 값, 토지피복 이름, 조도계수 값)을 가지며, 각 값은 콤마(,)로 구분한다.

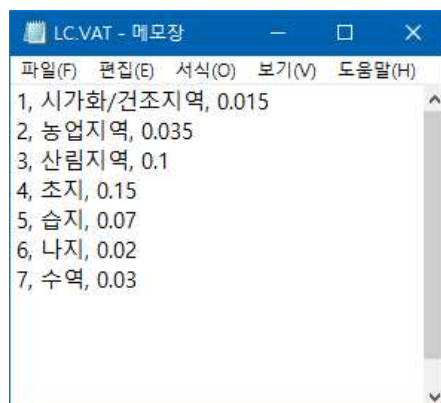


그림 3.1 토지피복도 VAT 파일 예시

3.3 수문자료

3.3.1 강우

G2D 모형은 domain 영역에서 내리는 강우를 침수해석시 생성항으로 적용할 수 있다. 강우자료는 domain 영역에서의 평균강우량이 저장된 텍스트 파일 혹은 격자별로 각기 다른 강우량을 가지는 ASCII 래스터 파일을 사용할 수 있다. 평균강우량을 적용할 경우에는 강우량 값이 저장된 텍스트 파일을 이용하고, ASCII 래스터 강우량을 적용할 경우에는 래스터 파일의 목록이 저장된 텍스트 파일을 이용한다. G2D 모형은 지표면 흐름해석만을 수행하므로, 적용된 모든 강우량은 직접유출하는 것으로 모의된다(즉, 침투나 증발산은 계산되지 않음).

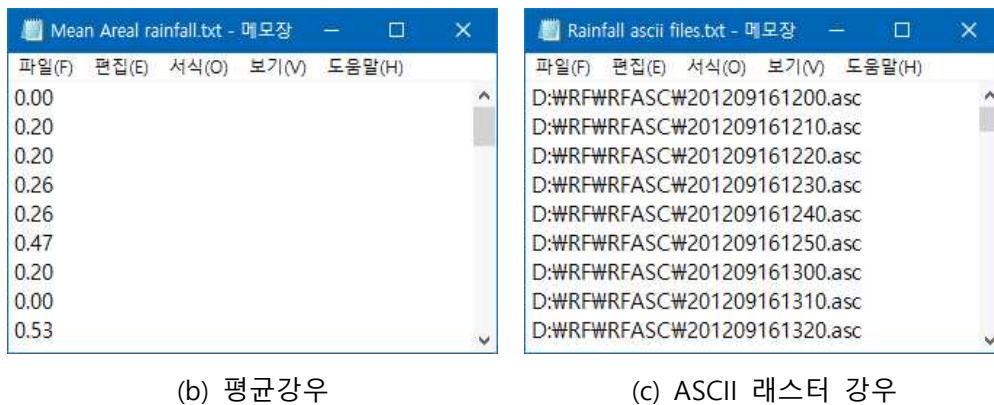


그림 3.2 강우량 입력파일 사례

3.3.2 초기조건

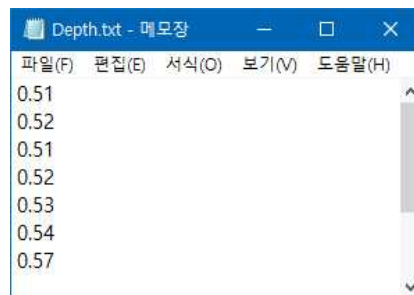
Domain에 포함된 모든 격자에 대해서 침수모의 시점에서의 수위 혹은 수심 초기조건을 설정할 수 있다. 초기조건은 하나의 수위 혹은 수심 값을 이용하여 모든 격자에 같은 값을 적용하거나, ASCII 래스터 파일을 이용하여 격자마다 다른 값을 적용할 수 있다.

3.3.3 경계조건

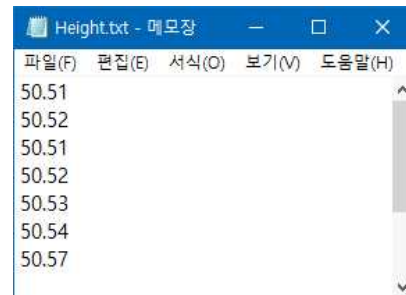
Domain에 있는 하나 이상의 격자에 대해서 수위, 수심, 유량 시계열 자료를 이용하여 경계조건을 설정할 수 있다. 이때 경계조건으로 유량이 사용될 경우, 입력된 유량은 지정된 격자에서의 생성항으로 계산에 적용된다.

고해상도의 DEM(격자의 크기가 작은 DEM)을 이용할 경우, 경계조건으로 큰 값이 입력되면 격자의 수심 환산 값이 커지게 된다. 이러한 경우에는 경계조건 입력 격자와 주변 격자의 수심의 불연속이 커지므로 수치해의 수렴을 위해 많은 반복계산이 필요하거나, 계산값의 정확도가 낮아 질 수 있다. 그러므로 고해상도의 DEM에서 큰 값의 경계조건을 적용할

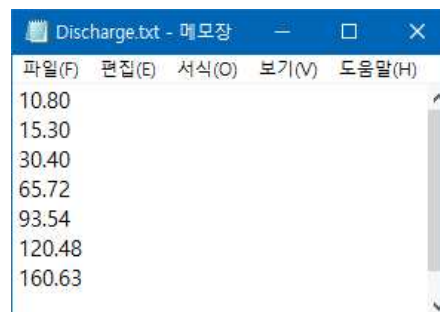
경우에는 여러 격자에 나누어서 입력해야 한다. G2D 모형은 하나의 경계조건 파일에 대해서 여러 개의 격자를 지정할 경우, 경계조건 값을 지정된 격자에 자동으로 균등하게 배분하여 흐름을 해석한다.



(a) 수심 경계조건



(b) 수위 경계조건



(c) 유량 경계조건

그림 3.3 경계조건 입력파일 사례

3.4 G2D 프로젝트 파일

G2D는 프로젝트 파일 (.g2p)을 이용해서 실행된다. G2D를 콘솔 창(Console window)에서 실행하기 위해서는 g2p 파일을 인수로 설정하고 실행한다.

(예를 들어, C:\W\G2D\W\G2D.exe "*projectFilePathAndName.g2p*")

g2p 파일은 xml DB 형식으로 저장된다. g2p 파일에 포함된 테이블과 각 테이블의 내용, 각 테이블의 필드 이름 및 설명, 각 필드의 설정 방법 등은 다음의 표와 같다. g2p 파일은 사용자가 텍스트 에디터를 이용해서 작성할 수 도 있으나, 일부 항목(격자 위치 등)은 직관적으로 그 값을 얻기 어려운 것도 있다. 그러므로 g2p 파일을 처음 만들 때는 G2D 모형의 GUI S/W(QGIS plug-in 등)를 이용해서 자동으로 생성하는 것이 편리하다.

g2p 파일에 한글이 포함되어 있을 경우에는 UTF-8 포맷으로 저장해야 하며, 한글이 포함되어 있지 않을 경우에는 ANSI 혹은 UTF-8 포맷으로 저장하면 된다.

표 3.2 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
DomainToChange	모의 진행 중에 교체할 domain DEM 파일 정보 설정	선택

표 3.3 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
CalculationTimeStep_sec	계산시간 간격 (초)	Double	필수
IsFixedDT	고정된 계산시간 간격의 사용 여부 (true 혹은 false)	String	필수
MaxDegreeOfParallelism	CPU를 이용한 최대 병렬계산 정도 (보통 PC의 논리 프로세서 개수를 적용함. -1을 적용할 경우는 모형에서 자동으로 최댓값을 사용함. 1을 적용할 경우 병렬계산이 적용되지 않음.)	Integer	필수
UsingGPU	GPU 사용 여부 (true 혹은 false) NVIDIA 계열의 그래픽 카드를 사용할 경우에만 true를 적용할 수 있음	String	필수
ThreadsPerBlock	CUDA에서 사용되는 하나의 thread block에서의 thread 개수 보통 16, 32, 64, 128, 256, 512 중 하나의 값이 사용됨(2019년 이후의 그래픽카드와 CUDA 버전에서는 1024까지 적용 가능) UsingGPU=true인 경우에만 사용됨	Integer	선택
MaxIterationAllCells	Domain 전체 셀의 수렴을 위한 최대 반복 계산 횟수 보통 5 ~ 20 사이의 값을 적용	Integer	필수
MaxIterationACell	하나의 셀의 수렴을 위한 최대 반복계산 횟수 보통 5 ~ 20 사이의 값을 적용	Integer	필수
StartDateTime	모의기간 시점. 시간 포맷이 설정된 경우에는 DateTime format으로 입력(예, 2012-09-16 12:00). 그렇지 않을 때는 0을 사용	String	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
InitialRainfallLoss_mm	강우의 초기손실 양(mm)	Double	선택

<ProjectSettings 테이블 명세서(계속)>

필드 명	정의	데이터 형식	필수 여부
BCDataInterval_min	경계조건 자료의 시간간격 (분)	Integer	선택
FloodingCellDepthClasses_cm	침수심별 정보를 기록하기 위한 수심 기준 값 (cm) 콤마(,)를 이용하여 다수의 값 입력 가능 입력되지 않으면 0.001cm 하나의 값이 적용됨	String	선택
CellLocationsToPrint	흐름성분 시계열 값 출력을 위한 셀 위치. 좌상단(0,0)으로 부터 번호 부여. 최댓값은 (열의 개수 - 1, 행의 개수 - 1). 여러 개 셀을 입력할 경우에는 "/"로 구분 (예, 5, 10 / 125, 320 / 126, 320)	String	선택
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
OutputPrecision_Depth	수심 출력 소수점 자리 수	Integer	필수
DepthImgRendererMaxV	수심 이미지 파일에서 렌더링 최댓값	Double	필수
OutputWaterLevel	수위 출력 여부 (true 혹은 false)	String	필수
OutputPrecision_WaterLevel	수위 출력 소수점 자리 수	Integer	필수
WaterLevelImgRendererMaxV	수위 이미지 파일에서 렌더링 최댓값	Double	필수
OutputVelocityMax	유속 출력 여부 (true 혹은 false)	String	필수
OutputPrecision_VelocityMax	유속 출력 소수점 자리 수	Integer	필수
VelocityMaxImgRendererMaxV	유속 이미지 파일에서 렌더링 최댓값	Double	필수
OutputDischargeMax	유량 출력 여부 (true 혹은 false)	String	필수
OutputPrecision_DischargeMax	유량 출력 소수점 자리 수	Integer	필수
DischargeImgRendererMaxV	유량 이미지 파일에서 렌더링 최댓값	Double	필수
OutputFDofMaxVelocity	최대 유속 방향 출력 여부 (true 혹은 false)	String	필수
OutputFDofMaxDischarge	최대 유량 방향 출력 여부 (true 혹은 false)	String	필수
WriteLog	로그 기록 여부 (true 혹은 false)	String	필수

표 3.4 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	도매인 경계면에서 domain 외부로 향하는 지면 경사값	Double	필수
InitialConditionType	초기조건 형식(Depth 혹은 WaterLevel) 입력되지 않으면 초기조건을 적용하지 않음	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	Double	필수
CourantNumber	Courant number 상한 값 0보다 크고, 1 이하의 범위를 가짐 일반적으로 0.5 ~ 0.7의 값을 적용함	Double	필수
ApplyVNC	dt 계산시 Von Neuman 조건 적용 여부 (true 혹은 false)	String	필수

표 3.5 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, WaterLevel 중 택 1	String	필수
DataFile	경계조건 파일의 경로와 이름	String	필수

표 3.6 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

4. 출력자료

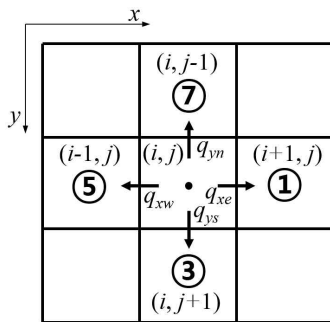
G2D는 domain에 포함된 격자 중 수심이 있는 격자(유효 격자)에서 수심과 유속 등을 계산하며, 계산 결과는 ASCII 래스터 파일 혹은 이미지 파일로 저장된다. 또한 로그 파일에서는 계산시간 간격(dt), 계산에 사용된 시간, 유효 격자의 개수, 지정된 수심별 격자 개수 등을 기록한다. 모의결과 파일은 선택적으로 출력 할 수 있다.

표 4.1 G2D 모의결과 파일

출력파일	내용
<i>[Project name]_Depth_[data time].out</i>	수심 (m)
<i>[Project name]_WaterLevel_[data time].out</i>	수위 (m). 평균해수면에서 수면까지의 높이
<i>[Project name]_Discharge_[data time].out</i>	격자의 4방향 흐름 중 최대 유량 (m³/s)
<i>[Project name]_Velocity_[data time].out</i>	격자의 4방향 흐름 중 최대 유속 (m/s)
<i>[Project name]_FDmaxVelocity_[data time].out</i>	최대 유속 방향*
<i>[Project name]_FDmaxDischarge_[data time].out</i>	최대 유량 방향*
<i>[Project name]_[Flux]_CellValue.csv</i>	지정된 셀에서의 흐름성분 시계열 값 (Flux : 수심, 수위, 최대 유량, 최대 유속, 최대유속 방향)
<i>[Project name].log</i>	모의 로그 파일 계산시간 간격(dt), 계산에 사용된 시간, 유효 격자 개수, 지정된 수심별 격자 개수 등

* 흐름방향으로 출력된 정수형 값의 의미는 아래와 같음

- 0 : 흐름 없음
- 한 방향으로 최대 흐름이 있는 경우
1 : 오른쪽 (i+1), 3 : 아래쪽 (j+1), 5 : 왼쪽(i-1), 7 : 위쪽 (j-1)
- 두 방향으로 같은 최대 흐름이 있는 경우
13 : 오른쪽, 아래쪽; 15 : 오른쪽, 왼쪽; 17 : 오른쪽, 위쪽
53 : 왼쪽, 아래쪽; 57 : 왼쪽, 위쪽; 37 : 아래쪽, 위쪽
- 세 방향으로 같은 최대 흐름이 있는 경우
137 : 오른쪽, 아래쪽, 위쪽; 315 : 아래쪽, 오른쪽, 왼쪽,
537 : 왼쪽, 아래쪽, 위쪽; 715 : 위쪽, 오른쪽, 왼쪽
- 네 방향 모두 같은 최대 흐름이 있는 경우
1537 : 오른쪽, 왼쪽, 아래쪽, 위쪽



참 고 문 헌

- 최윤석, 김경탁. 2019. Grid based Rainfall-runoff Model User's Manual. 한국건설기술연구원, pp. 14-15.
- Chow, V.T. 1959. Open-channel hydraulics. McGraw-Hill, pp. 101-123.
- Engman, E.T. 1986. Roughness coefficients for routing surface runoff. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 112(1), pp. 39-53.
- Vieux, B.E. 2004. Distributed Hydrologic Modeling Using GIS. Kluwer Academic Publishers.

부 록

가. G2D 프로젝트 파일 사례

```
<?xml version="1.0" standalone="yes"?>
<projectds xmlns="http://tempuri.org/projectds.xsd">
  <ProjectSettings>
    <DEMFile>C:\WG2D\SampleData\domain\DEM_JHW_10m.asc</DEMFile>
    <LandCoverFile>C:\WG2D\SampleData\domain\LC_JHW.asc</LandCoverFile>
    <LandCoverVatFile>C:\WG2D\SampleData\domain\LC_JHW.VAT</LandCoverVatFile>
    <CalculationTimeInterval_sec>1.0</CalculationTimeInterval_sec>
    <IsFixedDT>>false</IsFixedDT>
    <MaxDegreeOfParallelismCPU>18</MaxDegreeOfParallelismCPU>
    <UsingGPU>>false</UsingGPU>
    <ThreadsPerBlock>512</ThreadsPerBlock>
    <MaxIterationAllCells>7</MaxIterationAllCells>
    <MaxIterationACell>5</MaxIterationACell>
    <SimulationDuration_hr>25</SimulationDuration_hr>
    <PrintoutInterval_min>60</PrintoutInterval_min>
    <StartDateTime>0</StartDateTime>
    <RainfallDataType>TextFileMAP</RainfallDataType>
    <RainfallDataInterval_min>10</RainfallDataInterval_min>
    <RainfallFile></RainfallFile>
    <InitialRainfallLoss_mm>0</InitialRainfallLoss_mm>
    <BCDataInterval_min>60</BCDataInterval_min>
    <FloodingCellDepthClasses_cm>1, 10, 30, 50</FloodingCellDepthClasses_cm>
    <CellLocationsToPrint>179,762 / 283,641 / 22, 289</CellLocationsToPrint>
    <OutputDepth>>true</OutputDepth>
    <OutputPrecision_Depth>5</OutputPrecision_Depth>
    <OutputWaterLevel>>false</OutputWaterLevel>
    <OutputPrecision_WaterLevel>5</OutputPrecision_WaterLevel>
    <OutputVelocityMax>>false</OutputVelocityMax>
    <OutputPrecision_VelocityMax>5</OutputPrecision_VelocityMax>
    <OutputDischargeMax>>false</OutputDischargeMax>
    <OutputPrecision_DischargeMax>2</OutputPrecision_DischargeMax>
    <OutputFDofMaxV>>false</OutputFDofMaxV>
    <DepthImgRendererMaxV>3</DepthImgRendererMaxV>
    <WaterLevelImgRendererMaxV>200</WaterLevelImgRendererMaxV>
    <VelocityMaxImgRendererMaxV>10</VelocityMaxImgRendererMaxV>
    <DischargeImgRendererMaxV>10000</DischargeImgRendererMaxV>
    <MakeASCFile>true</MakeASCFile>
```

```

    <MakeImgFile>>false</MakeImgFile>
    <WriteLog>>false</WriteLog>
</ProjectSettings>
<HydroPars>
    <RoughnessCoeff>0.03</RoughnessCoeff>
    <DomainOutBedSlope>0.001</DomainOutBedSlope>
    <InitialConditionType>Depth</InitialConditionType>
    <InitialCondition>0</InitialCondition>
    <FroudeNumberCriteria>1</FroudeNumberCriteria>
    <CourantNumber>0.6</CourantNumber>
    <ApplyVNC>>false</ApplyVNC>
</HydroPars>
<BoundaryConditionData>
    <CellXY>162, 778 / 163, 778 / 164, 778 / 165, 778 / 166, 778</CellXY>
    <DataFile>C:\WG2D\SampleData\WBCdata\Wjhw_main_discharge_cms_dt60min.txt</DataFile>
    <DataType>Discharge</DataType>
</BoundaryConditionData>
<BoundaryConditionData>
    <CellXY>340,485 / 341,486 / 342,487</CellXY>
    <DataFile>C:\WG2D\SampleData\WBCdata\Wjhw_Oh_discharge_cms_dt60min.txt</DataFile>
    <DataType>Discharge</DataType>
</BoundaryConditionData>
<BoundaryConditionData>
    <CellXY>1,294 / 1,295 / 1,296</CellXY>
    <DataFile>C:\WG2D\SampleData\WBCdata\Wjhw_Sul_discharge_cms_dt60min.txt</DataFile>
    <DataType>Discharge</DataType>
</BoundaryConditionData>
<DEMFileToChange>
    <TimeMinute>600</TimeMinute>
    <DEMFile>C:\WG2D\SampleData\domain\DEM_JHW_10m_BP1.asc</DEMFile>
</DEMFileToChange>
</projectds>

```


나. 실행 파일, 샘플 자료

G2D 모형은 소프트웨어 설치과정을 필요로 하지 않고, 단지 exe를 복사하여 사용한다.

1. <https://github.com/floodmodel/G2D/tree/master/DownloadStableVersion>

에서 G2D.exe와 샘플데이터(SampleData.zip)를 다운로드 한다.

**** G2D v.2021 이상에서는 CUDA tool kit 11.2 이상의 버전이 설치되어 있어야 한다.**

2. Windows 10 이상의 OS에서는 웹에서 다운로드한 zip 파일 혹은 실행파일은 차단 해제를 해야 한다. 다운로드한 모든 파일을 선택한 후 마우스를 우클릭하여, 아래의 그림과 같이 [차단해제]를 선택하고 [확인] 버튼을 클릭한다.

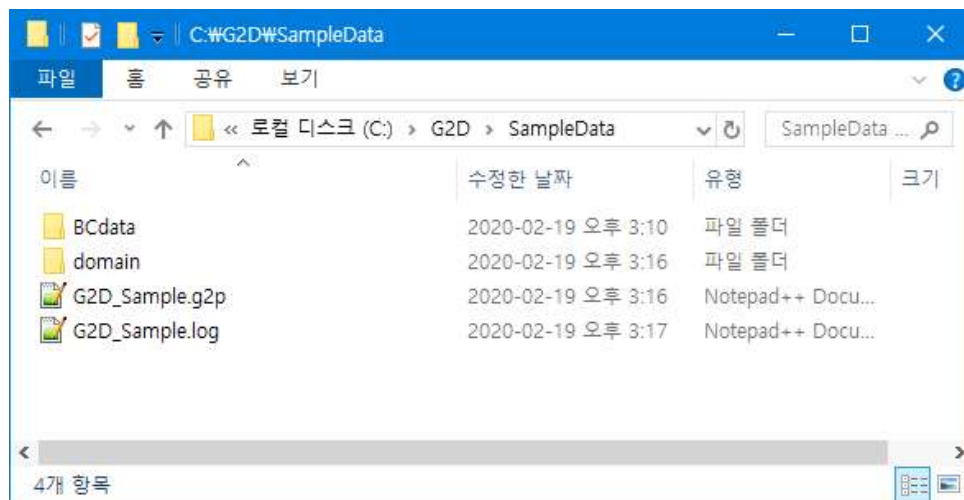


3. 다운로드한 각 파일을 압축을 풀어서 'C:\WG2D' 폴더에 배치할 경우의 폴더 구조는 아래와 같다.

4. SampleData 폴더에는 G2D를 실행하기 위한 샘플 프로젝트와 자료를 포함하고 있다. 'C:\WG2D' 폴더가 아닌 다른 폴더에 샘플데이터를 배치할 경우에는 이에 맞게 g2p 파일 (~\SampleData\WG2D_Sample.g2p)에 포함된 내용을 수정해야 한다.



<'C:\WG2D'에 배치된 실행파일과 샘플파일>



<'C:\WG2D\SampleData' 폴더 구성 항목>

5. CUDA를 이용하여 모의 실행시 (UsingGPU 옵션이 True로 설정된 경우) CUDA와 관련된 애러가 발생할 경우에는 "cudart64_110.dll"을 G2D.exe 파일과 같은 폴더에 배치한다.

다. G2D 모형 실행 방법(Console window)

G2D 모형은 QGIS plugin GUI인 QGIS-G2D의 메뉴로 실행하는 방법과 console 창에서 사용자가 직접 실행하는 방법이 있다. Console 창에서는 아래와 같이 G2D 모형의 프로젝트 파일(.g2p)을 argument로 하여 G2D 모형을 실행시킨다.

```
C:\WG2D\WG2D.exe "projectFilePathAndName.g2p"
```

예를 들어,

G2D.exe 파일이 'C:\WG2D' 폴더에 있고, G2D_Sample.g2p 파일이 'C:\WG2D\SampleData' 폴더에 있을 경우의 실행문은 아래와 같다.

```
C:\WG2D>G2D.exe C:\WG2D\SampleData\WG2D_Sample.g2p
```

프로젝트 파일 및 경로에 공백이 있는 경우에는 "" 표로 묶어서 입력한다.

```
C:\WG2D>G2D.exe "C:\WG2D\SampleData\WG2D Sample.g2p"
```

G2D.exe 파일과 g2p 파일이 같은 폴더에 있을 때는 프로젝트 파일의 경로를 입력하지 않아도 된다. 즉, G2D.exe 파일과 g2p 파일이 모두 'C:\WG2D' 폴더에 있는 경우에는 다음과 같이 실행시킬 수 있다.

```
C:\WG2D>G2D.exe G2D_Sample.g2p
```

"/?"를 입력하여 사용방법 도움말을 볼 수 있다.

```
C:\WG2D>G2D.exe /?
```

```
C:\G2D>g2d C:\G2D\SampleData\G2D_Sample.g2p
G2D v.2020.2.11. Built in 2020-02-19 15:27.
G2D was started.
C:\G2D\SampleData\G2D_Sample.g2p project was opened.
Parallel : true. Max. degree of parallelism : 12. Using GPU : false
1 CPU(s) installed.
CPU #1.
CPU name : Intel(R) Core(TM) i9-7900X CPU @ 3.30GHz
Number of CPU cores : 10
Number of logical processors : 20
iGS(all cells) max : 7. iNR(a cell) max : 5. tolerance : 0.000010
C:\G2D\SampleData\G2D_Sample.g2p -> Model setup was completed.
Calculation using CPU was started.
Current progress:min1: 80/1500[5%]..
```

<G2D 모형 실행 화면>