

Grid based Rainfall-runoff Model User's manual for MapWindow GIS

최윤석, 김경탁

한국건설기술연구원 수자원하천연구소

**v.GRM2016
2017.03**



한국건설기술연구원
KOREA INSTITUTE of CIVIL ENGINEERING and BUILDING TECHNOLOGY

History

GRM(Grid based Rainfall-runoff Model)은 한국건설기술연구원에서 개발된 격자 기반의 물리적 분포형 강우-유출 모형이다. GRM 모형의 개발 연혁은 다음과 같다.

- ▶ GRM 모형은 2008년에 최초로 개발되었다. 지표면 유출, 하도 유출, 지표하 유출, 흐름제어 유량 등을 모의할 수 있었다.
- ▶ 2008년에는 수자원 지리정보시스템인 HyGIS의 add-on인 HyGIS-GRM으로 개발되었으며, HyGIS 환경에서 extension 메뉴로 실행되었다.
- ▶ 2010년에는 기저유출 모의가 추가되었다. 실시간 강우자료를 이용한 실시간 유출해석 모듈이 개발 되었다.
- ▶ 2011년에는 HyGIS 소프트웨어 패키지에 포함되어 출시되었다.
- ▶ 2012년에는 단일 유역에서의 다지점 보정 기법이 개발되었다.
- ▶ 2013년에는 GUI 없이 GRM을 실행시킬 수 있는 GRMMP가 개발되었다.
- ▶ 2014년에는 침투, 지표하 유출, 기저유출 모의 기법이 개선되었다. 오픈소스 GIS인 MapWindow GIS(v.4.8.8)에서 실행할 수 있는 plug-in인 MW-GRM이 개발되었다. PEST를 이용한 최적화 모듈이 개발되었다.
- ▶ 2015년에는 계산시간 간격(dt)에 대한 민감도가 개선되었다. 실시간 유출해석 모듈에서 실시간 흐름제어(flow control)를 모의할 수 있도록 개선되었다. 다수의 유역시스템을 연계 해석할 수 있는 다지점 보정기법이 개발되었다.

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

2017. 03.

목 차

1. GRM 모형의 개요	1
1.1 유출구조	1
1.2 지표 흐름	2
1.3 침투	3
1.4 지표하 유출	4
1.5 기저유출	5
1.6 이산화 방정식	6
1.7 Flow control	8
2. 모형 매개변수	10
2.1 토양 매개변수	10
2.2 토지피복 매개변수	12
2.3 하폭	13
2.4 초기포화도	15
2.5 최소경사	15
2.6 하도 조도계수	15
2.7 건천차수	16
2.8 매개변수 보정계수	17
2.9 매개변수 추정	17
3. 다지점 보정	18
3.1 단일 유역 다지점 보정 기법	19
3.2 소유역 연계 다지점 보정 기법	20
4. 입출력 자료 및 데이터모델	22
4.1 입력자료	22
4.2 출력자료	23
4.3 데이터 모델	24

5. GRM의 사용자 모듈	33
6. MW-GRM	35
6.1 MW-GRM 사용절차	35
6.2 MW-GRM 메뉴	37
7. GRM-PEST	54
8. GRM Analyzer	57
9. GRM Tools	59
9.1 Make Rainfall Grid Layers with Point Time Series	59
9.2 Raster File Processing	61
9.3 Grid Rainfall Calibration	62
9.4 Generate Precipitation from Satellite Data	64
9.5 Gridded Data Series Analysis	65
9.6 Create Soil Grid Layers	67
10. GRM MP	69
11. GRM RT	70
참 고 문 헌	73

1. GRM 모형의 개요

1.1 유출구조

GRM(Grid based Rainfall-runoff Model)은 단기간의 강우-유출 사상을 모의하기 위한 물리적 기반의 분포형 강우-유출 모형이다. 지표면 유출과 하도 유출의 해석을 위해서 운동파 모형을 이용하고 있으며, 침투량 산정은 Green-Ampt 모형을 이용하고 있다. 지배방정식의 해석은 유한체적법을 이용하고 있으며, 비선형 항에 대해서는 Newton-Raphson 방법을 이용하여 수렴해를 도출한다(최윤석, 2010).

지표 유출은 지표면 유출(overland flow)과 하도 유출(channel flow)로 구분하였으며, 직접유출은 지표면 유출과 지표하 유출로 구성된다. 지표면 유출은 침투초과유출(Horton, 1933)과 포화초과유출(Dunne과 Black, 1970)에 의해서 발생하며, 침투 과정과 지표하 유출은 토양수대(soil water zone)(Bras, 1990)에 대해서 모의한다.

검사체적에 대한 수문성분의 입출력 모식도(한국건설기술연구원, 2011a)에서 흐름방향을 x 방향으로 설정하고, 수평 성분 중 흐름에 직각인 방향을 y 방향으로 설정하며, h 는 수심을 나타낸다. 검사체적으로서의 유입 수문성분은 상류 검사체적에서의 지표 유입량과 횡방향 유입량 및 강우량으로 구성되며, 검사체적으로부터의 유출 수문성분은 지표 유출량과 침투량으로 구성된다. 이때 침투량은 지표하 유출에 기여하게 되며, 지표하 유출은 하류가 하천인 경우 하류의 검사체적에 대해서 횡방향 유입으로 작용하며, 포화된 지표면인 경우에는 지표면 유입에 기여한다(Beven과 Kirkby, 1979).

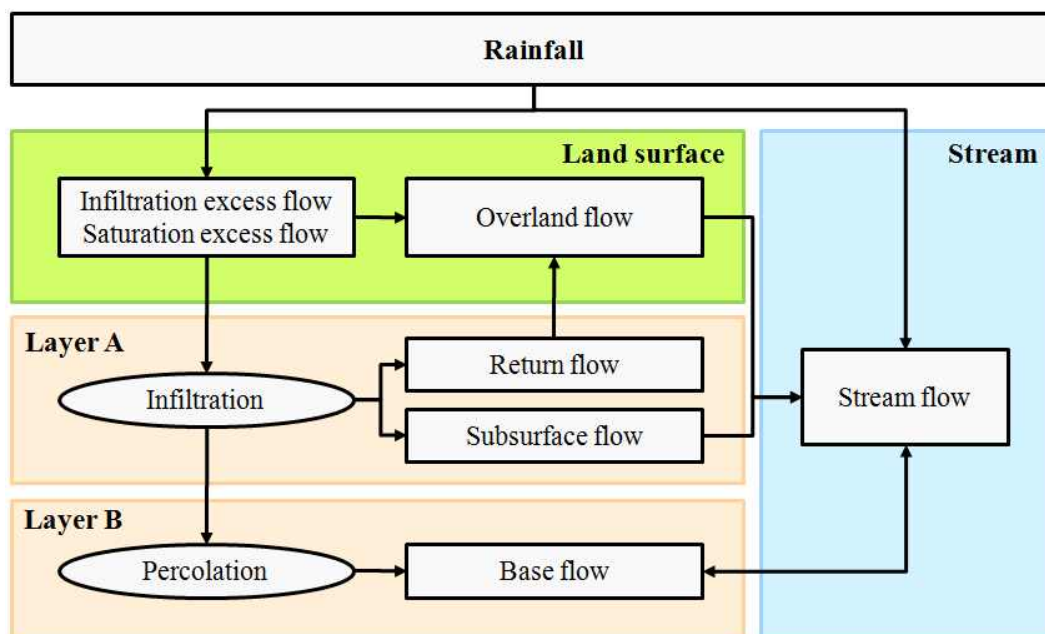


그림 1.2 수문성분의 유출과정

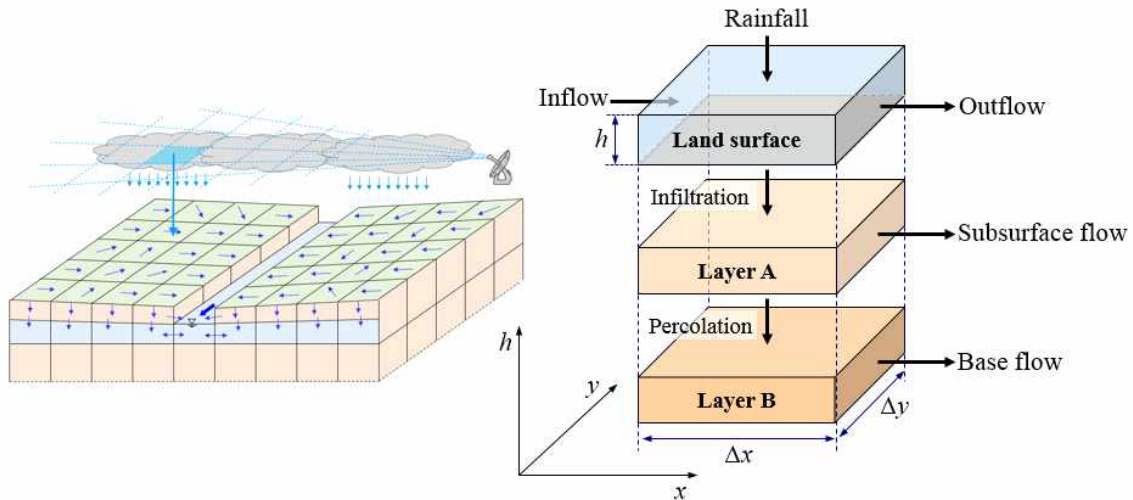


그림 1.3 검사체적에서의 수문성분 입출력

1.2 지표 흐름

지표흐름(surface flow)은 지표면 흐름(overland flow)과 하도 흐름(channel flow)으로 구분할 수 있으며, 이에 대한 유출해석을 위해서 운동과 방정식을 적용하고 있다. 운동과 방정식은 연속방정식과 운동량방정식의 조합으로 해석되며, 지표면 흐름에서의 연속방정식은 식 (1.2.1)과 같고, 하도 흐름에서의 연속방정식은 식 (1.2.2)를 적용한다. 식 (1.2.2)에서는 하도에서의 유효강우량을 생성항으로 분류하고, 측방유입량은 지표하 유출, 기저유출, 하도 셀에서의 지표면 유출량을 포함하고 있다. 또한 운동과 모형에서의 운동량 방정식은 식 (1.2.3)과 같이 기술된다(최윤석, 2010).

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r - f + \frac{q_r}{\Delta y} \quad (1.2.1)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = r \Delta y + q_L + q_{ss} + q_b \quad (1.2.2)$$

$$S_0 = S_f \quad (1.2.3)$$

여기서 q : 단위 폭당 유량($q = uh$), u : x 방향 유속, r : 강우강도, f : 침투율, A : 하도 단면적, q_r : 복귀류, A : x 방향에 직각인 단면적, Q : 유량, h : 수심, q_L : 지표면 흐름에 의한 측방유입, q_{ss} : 하도로 유입되는 지표하 유출, q_b : 기저유출, t : 시간

식 (1.2.3)은 중력과 마찰력이 평형을 이루는 상태로 식 (1.2.4)의 Manning의 유속공식에서 마찰경사 대신에 바닥경사를 적용함으로써 유속을 계산할 수 있다. 수심이 작은 지표면 흐름에서 식 (1.2.4)에서의 동수반경으로 수심을 근사적으로 적용하고 있으며(식 (1.2.5)), 하도 추적에서의 동수반경은 비대칭 사다리꼴 단면을 적용할 수 있다(식 (1.2.6)).

$$u = \frac{R^{2/3} S_0^{1/2}}{n} \quad (1.2.4)$$

여기서 n : 조도계수, R : 동수반경

$$R = \frac{b_s \cdot h}{b_s + 2h} \approx h \quad (1.2.5)$$

여기서 b_s : 지표면 흐름에서 검사체적의 폭($b_s \gg h$)

$$R = \frac{b + \frac{h^2}{2} \left(\frac{1}{SLB} + \frac{1}{SRB} \right)}{b + h \times \sqrt{1 + \frac{1}{SLB^2}} + h \times \sqrt{1 + \frac{1}{SRB^2}}} \quad (1.2.6)$$

여기서, $SLB = h/bLB$, $SRB = h/bRB$, b : 하폭

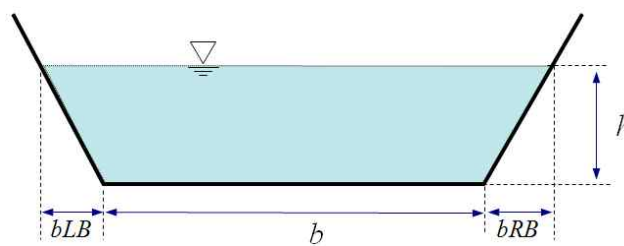


그림 1.4 비대칭 사다리꼴 하도 단면

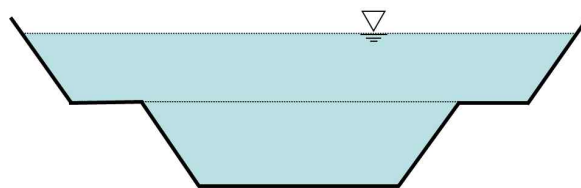


그림 1.5 복단면 하도

1.3 침투

GRM은 강우강도가 침투율보다 클 때 발생하는 침투초과유출과 토양의 포화시 발생하는 포화초과유출을 모의할 수 있으며, 침투량 산정을 위하여 Green-Ampt 모형을 적용한다. Green-Ampt 모형에서는 식 (1.3.1)과 같이 누가침투량을 계산하고 있으며, 침투율은 누가침투량을 이용해서 식 (1.3.2)로 계산된다.

$$F(t) = Kt + \Delta\theta\psi \ln\left(1 + \frac{F(t)}{\Delta\theta\psi}\right) \quad (1.3.1)$$

$$f(t) = K\left(\frac{\psi\Delta\theta}{F(t)} + 1\right) \quad (1.3.2)$$

여기서 $F(t)$: t 시간에서의 누가침투량, $f(t)$: t 시간에서의 침투율, $\Delta\theta$: 토양수분함량변화($\Delta\theta = (1 - S_e)\theta_e$), S_e : 유효포화도($S_e = (\theta - \theta_r)/(\eta - \theta_r)$), θ : 수분함량($\theta_r \leq \theta \leq \eta$), θ_r : 잔류 수분함량($\theta_r = \eta - \theta_e$), η : 공극율, θ_e : 유효공극율, ψ : 습윤전선 흡인수두, K : 수리전도도

1.4 지표하 유출

Beven(1981)은 포화상태에서의 지표하 흐름의 모의를 위해서 운동파 모형을 적용한 바 있다. 운동파 모형을 이용한 지표하 흐름은 포화된 검사체적 내에서의 동수경사가 지표면 경사와 같다는 가정에 기반하고 있으며, 식 (1.4.1)을 이용해서 지표하 유출을 계산한다.

$$q_{ss} = KD_s \sin(S_a) \quad (1.4.1)$$

여기서 q_{ss} : 지표하 유출, D_s : 포화된 토양 깊이, S_a : 지면의 경사각

운동파 모형에 의한 지표하 유출의 모의는 깊이가 D 인 토양에 대해서 다음 그림과 같이 나타낼 수 있다(최윤석, 2010). GRM에서는 검사체적에서의 지표하 유출의 동수경사를 지표면 경사와 동일한 일정한 값으로 가정하며, 포화된 토양 깊이에 대해서 지표하 유출을 모의한다. 이때 침투에 의해서 포화된 토양의 깊이가 발생하면 지표하 유출은 하도 흐름에서의 측방유입 성분으로 기여하고, 검사체적에서의 토양이 완전히 포화될 경우($D_s = D$) 지표면 유출에 기여하는 포화초과유출과 국부적인 복귀류(Dunne과 Black, 1970)를 모의한다.

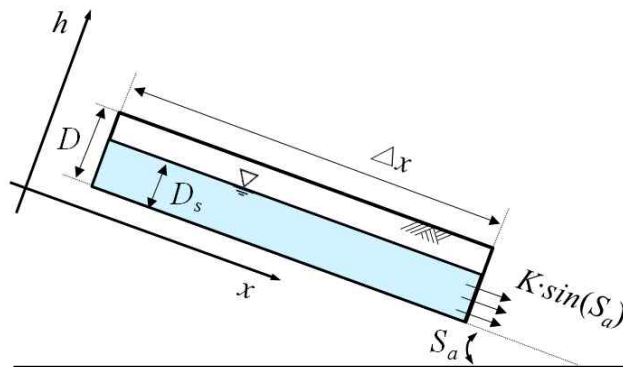


그림 1.6 운동파 지표하 유출 모형

Sloan과 Moore(1984)는 완전히 포화된 토양이 포함된 임의 구간에서의 유출량 계산을 위해서 연속방정식을 이용한 물수지에 기반한 Simple Storage-Discharge 모형을 식 (8)과 같이 제안하였다. 식 (1.4.2)는 완전히 포화된 토양에서의 포화초과유출과 지표하 유출을 나타내고 있으며, GRM에서 각 성분은 하류 검사체적에 대해서 지표면 유입량과 측방유입 혹은 복귀류의 모의에 적용된다. 특히 강우와 유출이 발생되면 포화된 토양의 깊이는 가변적이며, 따라서 완전히 포화된 토양에 대해서만 모의하고 있는 포화초과유출과 복귀류를 발생시키는 검사체적도 가변적이게 된다(Dunne and Black, 1970; Bras, 1990; 박종관 등, 2006).

$$q_o = i_s L_s + q_s \quad (1.4.2)$$

여기서 q_o : 임의 구간 하단부에서의 단위 폭당 유량, L_s : 지표면까지 포화된 구간의 지표면 길이, i_s : 포화된 수면과 직각으로 유입되는 포화영역 외부에서의 유입률, q_s : 지표하 유출

1.5 기저유출

GRM에서는 토양을 2개의 층으로 구분한다. 상부에 있는 A 층에서는 침투와 지표하 유출을 모의하고, 하부의 B 층에서는 기저유출을 모의한다. A 층이 포화될 경우 B 층으로의 침투현상이 발생하며, 침투깊이는 식 (1.5.1)과 같이 계산한다.

$$p = K_{Bv} \times \Delta t \quad (1.5.1)$$

여기서 K_{Bv} : B 층에서의 연직 투수계수, p : Δt 시간 동안의 침투량

B 층에서의 횡방향 유량은 Darcy의 법칙(Freeze and Cherry, 1979)을 기반으로 식 (1.5.2)와 같이 계산할 수 있으며, 이때 Δx 구간에서의 수두차를 지표면 경사와 같다고 가정하고 식 (1.5.3)을 적용한다.

$$q_{Bh} = K_{Bh} D_B \frac{dz_B}{dx} \quad (1.5.2)$$

$$q_{Bh} = K_{Bh} D_B \sin(S_a) \quad (1.5.3)$$

여기서 z_B : B 층의 수위, K_{Bh} : B 층의 횡방향 투수계수, D_B : B 층의 수심, q_{Bh} : B 층의 단위폭당 횡방향 유량

비피압대수층과 하천과의 유량 교환은 비피압대수층의 수심(h_B)이 하도 수심(h_{ch})보다 클 경우($h_B > h_{ch}$)에는 식 (1.5.4)를 이용하여 하도로 유입되는 기저유출량을 계산하고, 비피압

대수층의 수심이 하도 수심보다 작을 경우($h_B < h_{ch}$)에는 식 (1.5.5)를 이용하여 하도에서 토양 B 층으로의 유출을 계산한다.

$$q_b = K_{Bh} \frac{h_B - h_{ch}}{h_{ch}} b \quad (\text{for } h_B > h_{ch}) \quad (1.5.4)$$

$$q_b = K_{Bh} (h_B - h_{ch}) \quad (\text{for } h_B < h_{ch}) \quad (1.5.5)$$

여기서 h_B : 비피압대수층의 수심, h_{ch} : 하도 수심, b : 하폭, q_b : 검사체적 단위 길이 당 기저유량

1.6 이산화 방정식

GRM은 유한체적법을 이용하여 지배방정식을 이산화 하며, 이를 위한 검사체적의 설정은 다음 그림과 같다(최윤석 등, 2008). 검사체적의 번호는 변수의 아래첨자 i 로 표시하고 있으며, 검사체적의 중심부를 p , 검사체적으로 유입이 발생하는 상류 방향($-x$ 방향)의 검사체적면을 w , 유출이 발생하는 하류 방향(x 방향)의 검사체적면을 e 로 표시한다(Patankar, 1980).

지표면 및 하도 흐름해석을 위한 연속방정식을 검사체적 CV_i 에 대해서 x 와 t 항에 대해 적분 한 후 이산식을 작성하면 식 (1.6.1) 및 식 (1.6.2)와 같고, 비선형항은 Newton-Raphson 방법으로 반복계산하여 수렴해를 도출한다(최윤석, 2010). 식 (1.6.1)에서 하나의 격자에서 지표면 흐름과 하도 흐름을 함께 모의해야 하는 경우에는 지표면 흐름의 해석에 적용되는 Δy_i 로 격자의 y 방향 크기(Δy)에서 하폭(b)을 제외한 길이를 적용한다.

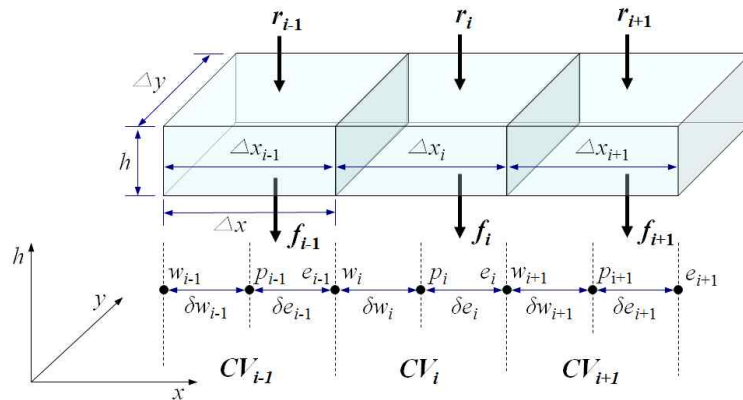


그림 1.7 이산화방정식 작성을 위한 검사체적 설정

$$h_{ip}^{j+1} = h_{ip}^j - \alpha (\bar{u})_{ie}^{j+1} h_{ie}^{j+1} \frac{\Delta t}{\Delta x_i} + \alpha (\bar{u})_{iw}^{j+1} h_{iw}^{j+1} \frac{\Delta t}{\Delta x_i} - (1 - \alpha) \{ (\bar{u})_{ie}^j h_{ie}^j - (\bar{u})_{iw}^j h_{iw}^j \} \frac{\Delta t}{\Delta x_i} + \{ \alpha S_i^{j+1} + (1 - \alpha) S_i^j \} \Delta t \quad (1.6.1)$$

여기서 S_i : 생성 항($S_i = r_i - f_i + \frac{q_{ri}}{\Delta y_i}$), $\Delta y_i = \Delta y - b_i$, b_i : 검사체적 CV_i 에 설정된 하폭

$$A_{ip}^{j+1} = A_{ip}^j - \alpha(\bar{u})_{ie}^{j+1} A_{ie}^{j+1} \frac{\Delta t}{\Delta x_i} + \alpha(\bar{u})_{iw}^{j+1} A_{iw}^{j+1} \frac{\Delta t}{\Delta x_i} - (1-\alpha) \{ (\bar{u})_{ie}^j A_{ie}^j - (\bar{u})_{iw}^j A_{iw}^j \} \frac{\Delta t}{\Delta x_i} + \{ \alpha S_i^{j+1} + (1-\alpha) S_i^j \} \Delta t \quad (1.6.2)$$

여기서 S_i : 생성 항($S_i = r_i \Delta y_i + q_{Li} + q_{ssi} + q_{bi}$)

하도의 특성을 가지는 임의의 검사체적은 하폭과 격자 크기에 따라서 다음 그림과 같이 하폭이 격자 크기보다 작은 경우와 하폭이 격자 크기보다 크거나 같은 경우로 구분된다. 하폭이 격자 크기보다 작은 경우에는 해당 검사체적에 대해서 지표면 유출, 하도 유출, 지표하 유출이 함께 모의되며, 하폭이 격자 크기보다 크거나 같은 경우에는 하도 유출만이 모의된다. 이때 해당 검사체적에서 발생한 강우는 하폭의 범위 안에서 발생하는 경우와 하폭의 범위 밖에서 발생하는 경우로 구분된다. 하폭 내에서 발생한 강우는 하천의 직접유출에 모두 기여하고, 하폭 밖의 지표면 부분에서 발생한 강우는 지표면 유출 과정에서와 같이 침투 과정의 해석을 거친다. 그러므로 하도 유출 해석을 위한 식 (1.6.2)에서의 Δy_i 는 하폭이 격자의 크기보다 크거나 같은 경우에는 격자의 y 방향 크기와 같은 값을 적용($\Delta y_i = \Delta y$)하며, 하폭이 격자의 크기보다 작은 경우에는 하폭을 적용($\Delta y_i = b_i$)한다.

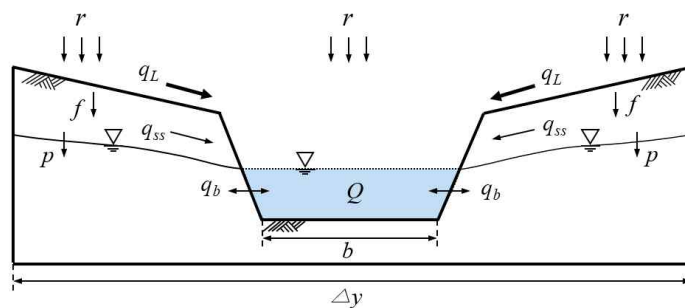


그림 1.8 하폭이 격자 크기보다 작은 경우

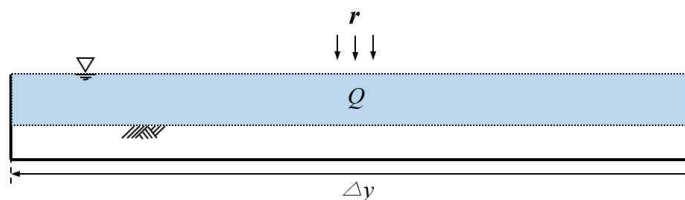


그림 1.9 하폭이 격자 크기보다 크거나 같은 경우

1.7 Flow control

GRM은 강우에 의한 직접유출과 같은 자연유하의 모의와 함께 Flow control 모듈을 이용해서 유역내에서 발생하는 인위적인 유량 조건의 변동을 유출모의에 반영할 수 있다. Flow control 모듈을 이용해서 모의할 수 있는 유량 조건은 "Reservoir outflow", "Inlet", "Reservoir operation", "Sink flow", "Source flow" 이다. Flow control 모듈은 하도 흐름특성 및 지표면 흐름특성을 가지는 격자에 대해서 모두 적용할 수 있으며, 하나의 유역 내에서 다수의 Flow control 조건을 복합적으로 적용함으로써 강우에 의한 직접유출량과 함께 유출 모의 기간에 발생하는 다양한 유량조건의 변동을 유출모의에 반영할 수 있다(한국건설기술연구원, 2011b).

1.7.1 Reservoir outflow

"Reservoir outflow" 모듈에서는 저수지로 지정된 격자를 기준으로 유역을 상류와 하류로 분리해서 유출모의를 수행하며, 저수지 운영 식을 고려하지 않는다. 저수지로 지정된 검사체적에서의 유출량은 식 (1.7.1)과 같이 사용자에게 의해서 입력된 저수지의 관측 유출 수문곡선을 이용하여 계산되며, 저수지 직하류에 위치한 검사체적은 저수지의 유출량을 상류단 경계조건에 포함시켜서 유출모의를 수행한다.

$$q_{ie} = q_o \quad (1.7.1)$$

여기서 q_{ie} :저수지로 설정된 검사체적 i 에서 유출되는 단위 폭 당 유량, q_o :저수지의 관측 유출수문곡선으로 부터 계산된 단위 폭 당 유량

1.7.2 Inlet

Inlet으로 지정된 격자를 기준으로 상류와 하류를 분리하여 유출모의를 수행한다. 특정 격자를 기준으로 유역을 분할하여 유출모의를 수행하는 것은 "Reservoir outflow"와 동일하나, "Inlet"에서는 Inlet으로 지정된 격자의 상류는 유출모의를 수행하지 않는 특징이 있다. 저수지 운영 식을 고려하지 않으며, Inlet 격자에 대해서 유출 수문곡선이 주어진다면 Inlet 격자에서의 유출량은 식 (1.7.1)과 동일한 방법으로 계산되고, 이는 Inlet을 포함한 하류 유역의 상류단 경계조건으로 적용된다.

이와 같은 "Inlet" 기능은 댐과 저수지가 포함된 대유역에서 댐 혹은 저수지로부터의 관측 유출 수문곡선이 있을 경우, 댐과 저수지 상류 영역을 모의대상 영역에서 제외하고 하류 영역만을 모의할 수 있으며, 이로 인해서 유출모형에서 필요로 하는 공간자료 및 시계열 수문자료의 구축 영역을 줄일 수 있는 장점이 있다. 격자 기반의 분포형 모형에서는 모의대상 영역이 줄어들 경우 유역을 구성하는 격자의 개수가 줄어들게 되며, 유출모의 소요시간을 단축시킬 수 있다. 또한 동일한 유출모의 시간을 적용할 경우에는 유역의 격자 크기를 작게 구성할 수 있으며, 이를 통해서 격자 크기의 스케일 문제에서 발생할 수 있는 지형 및 분포

형 수문자료의 불확실성을 줄일 수 있다.

1.7.3 Reservoir operation

“Reservoir operation” 모듈에서는 저수지에서의 저류 영향과 저수지 운영을 유출모의에 반영할 수 있다. GRM에서는 초기저류량, 최대저류량, 최대저류율, 일정방류량, 수위-저류량 및 수위-방류량의 ROM(Reservoir Operation Method)을 동적으로 모의할 수 있으며, 이를 위해서는 다음 표와 같은 저수지 제원과 ROM이 필요하다.

표 1.1 Reservoir operation 모듈의 적용을 위한 저수지 조건(최윤석, 2010)

구분		설명
제원	초기저류량	저수지의 초기 저류량
	최대저류량	저수지의 최대 저류량
	최대저류율	최대 저류량의 가용율
ROM	Automatic ROM	저수지의 최대 가능 저류량에 도달하기 전까지는 저수지 유출이 발생하지 않으며, 최대 가능 저류량에 도달 할 경우, 저수지로 유입되는 모든 유량이 유출
	Rigid ROM	저수지의 저류량이 입력된 방류량 보다 작을 경우는 모두 방류. 저수지의 저류량이 입력된 방류량 보다 클 경우 일정한 유량을 방류하다가 저류량이 저수지의 최대 가능 저류량을 초과할 경우 유입되는 유량이 모두 방류
	일정 방류량	저수지의 용량에 관계없이 일정한 양을 일정한 시간 동안 방류
	저류량-방류량 관계식	저류량-방류량 관계식 혹은 수위-저류량, 수위-방류량 관계식을 이용하여 저류량과 방류량을 계산(사용자 GUI에서는 지원하지 않음)

1.7.4 Sink flow / source flow

“Sink flow”는 임의 격자에 대해서 모의된 유출량의 일부가 배제되는 조건을 모의하고 있으며, “Source flow”에서는 임의 격자에 대해서 모의된 유출량에 추가되는 유량 조건이 있을 경우 이를 반영하여 유출모의를 수행한다. “Sink flow”와 “Source flow”에 의해서 배제 혹은 추가되는 유량은 수문곡선으로 주어지며, 지표면 유출 및 하도 유출모의시 생성항(source term)으로 적용된다. “Sink flow” 혹은 “Source flow”는 하도 셀에 대해서 “Reservoir operation” 모듈을 동시에 적용할 수 있으며, 이를 통해서 저수지 운영을 함께 모의할 수 있다.

2. 모형 매개변수

GRM 모형은 강우-유출 현상을 물리적으로 해석하고 있으며, 이를 위해서 격자별로 부여된 물리적인 매개변수를 사용한다. 이때 유역경계, 하천망, 토양, 토지피복 등에 의해서 설정되는 물리적 매개변수는 이론적으로는 사용자에게 의한 매개변수 추정 대상에서 제외되어야 하지만, 모형의 지배방정식의 제약과 자료의 생성과정 및 스케일의 문제로 인하여 필요에 따라서는 매개변수 추정의 대상이 되기도 한다.

GRM에서는 물리적인 특성을 반영하는 고정된 매개변수가 아닌 사용자에게 의해서 추정되어야 하는 매개변수로 토양의 초기포화도, 하도 최소경사, 하도 조도계수, 건천차수 등을 제시하고 있으며, 토양 및 토지피복 특성별로 설정된 각 매개변수를 일괄적으로 보정하기 위한 매개변수 보정계수를 적용할 수 있다.

표 3.1 GRM 모형의 입력자료와 매개변수

모형 입력 자료 (래스터 레이어)	설정 매개변수
유역	검사체적 번호, 격자크기, 유출해석 영역
흐름방향	상하류 검사체적, 흐름 관계, 계산 순서
흐름누적수	
경사	경사, 하도 최소경사
하천망	최소하폭, 하천 검사체적, 하천차수, 건천차수, 하도 조도계수
토지피복도	지표면 조도계수, 불투수율
토양도	Green-Ampt 매개변수, 유효 토심
강우	강우, 초기포화도(선행강우)
유량(지점자료)	초기유량

2.1 토양 매개변수

GRM은 침투과정의 모의를 위해서 Green-Ampt 모형을 이용하고 있으며, 침투초과유출의 모의를 위한 토양속성별 Green-Ampt 모형의 매개변수 및 포화초과유출과 지표하 유출의 모의를 위한 토양심을 설정해야 한다.

Green-Ampt 모형을 이용하여 침투량을 계산하기 위해서는 토양에 대한 공극율, 유효공극율, 습윤전선 흡인수두 및 수리전도도와 같은 물리적 특성을 알아야 하며, 이러한 토양 특성은 토양 습윤의 실측을 통해서 얻을 수 있다(Brakensiek 등, 1981). Rawls 등(1983)은 미국 내 약 5,000개의 토양을 분석하고, 토성별 Green-Ampt 모형의 매개변수의 평균값을 제안하였다. Green-Ampt 모형에서 토양의 유효포화도를 결정하는데 적용되는 초기수분함량(θ)을

제외한 모든 매개변수는 토성에 따라서 미리 정해진 값을 이용하며, 유출모의 과정에서 각 매개변수를 추정할 수 있다. 초기수분함량(θ)은 실측 혹은 매개변수 추정에 의해서 결정될 수 있으며, 선행강우와 같은 유역의 수문학적 조건에 따라서 달라질 수 있다.

한국에서 일반적으로 활용할 수 있는 토양도는 한국농업기본도(기초기술연구회, 2008), 한국개략토양도, 개략토양도 및 정밀토양도가 있다(김경탁, 1998). 이 중 정밀토양도는 현지 조사를 위주로 수행된 정밀토양조사에 의해서 작성된 토양도로 한국토양을 토양통(soil series)으로 분류하고 이를 토양구(soil type), 토양상(soil phase)으로 세분하고 있으며, 가장 작은 단위인 토양상에 대한 물리적 특성을 포함하고 있다(농업기술연구소, 1992).

Green-Ampt 모형의 매개변수는 토성(soil texture)별로 설정되어 있으며, 정밀토양도에서는 토양구에 대해서 이와 동일한 토성 분류를 적용하고 있다. 또한 포화초과유출의 계산을 위한 한국토양의 토양심은 정밀토양도의 토양통을 기준으로 분류하고 있으며, 토양조사사업의 성과를 바탕으로 다음과 같은 토양심 분류별 값의 범위를 설정하고 있다(농업기술연구소, 1992).

표 2.2 토성에 따른 Green-Ampt 침투 매개변수(Rawls 등, 1983; Chow 등, 1988)

Soil Texture	Porosity (η)	Effective porosity (θ_e)	Residual moisture content ($\theta_r = \eta - \theta_e$)	Wetting front soil suction head ($ \psi_f $)[cm]	Hydraulic conduct. (K) [cm/hr]
Sand (사토)	0.437 (0.374-0.5)	0.417 (0.354-0.479)	0.02	4.95 (0.97-25.35)	11.78
Loamy sand (양질사토)	0.437 (0.363-0.505)	0.401 (0.329-0.472)	0.036	6.13 (1.35-27.93)	2.99
Sandy loam (사양토)	0.453 (0.351-0.554)	0.412 (0.283-0.54)	0.041	11.01 (2.67-45.46)	1.09
Loam (양토)	0.463 (0.375-0.55)	0.434 (0.334-0.533)	0.029	8.89 (1.33-59.37)	0.34
Silt loam (미사질양토)	0.501 (0.42-0.581)	0.486 (0.394-0.577)	0.015	16.68 (2.92-95.38)	0.65
Sandy clay loam (사질식양토)	0.398 (0.332-0.463)	0.33 (0.235-0.424)	0.068	21.85 (4.42-108.1)	0.15
Clay loam (식양토)	0.464 (0.409-0.518)	0.309 (0.279-0.5)	0.155	20.88 (4.79-91.9)	0.1
Silty clay loam (미사질식양토)	0.471 (0.418-0.523)	0.432 (0.347-0.516)	0.039	27.3 (5.67-131.49)	0.1
Sandy clay (사질식토)	0.43 (0.37-0.489)	0.321 (0.207-0.434)	0.109	23.9 (4.08-140.1)	0.06
Silty clay (미사질식토)	0.479 (0.425-0.532)	0.423 (0.334-0.511)	0.056	29.22 (6.13-139.3)	0.05
Clay (식토)	0.475 (0.427-0.522)	0.385 (0.269-0.5)	0.09	31.63 (6.39-156.4)	0.03

표 2.3 토양통에 대한 토양심 분류(농업기술연구소, 1992)

토양심 분류		토양심[cm]	
		미농무성	정밀토양조사
Very shallow	매우얕음	0 - 10	0 - 20
Shallow	얕음	10 - 30	20 - 50
Moderately deep or Moderately shallow	보통	35 - 50	50 - 100
Deep	깊음	50 - 60	100 - 150
Very Deep	매우깊음	> 60	> 150

2.2 토지피복 매개변수

유역의 토지피복은 지표면 흐름의 계산을 위한 조도계수와 불투수율의 설정에 영향을 미친다. GRM에서는 강우에 의한 지표면 유출의 모의를 위해서 Engman(1986), Vieux(2004) 등에 의해서 제안된 토지피복에 따른 조도계수를 참고하여 다음 표와 같이 적용하고 있다.

표 2.4 토지피복 속성별 조도계수

토지피복도 대분류(환경부)		조도계수
코드	속성	
1	수역	0.03
2	시가화/건조지역	0.015
3	나지	0.02
4	습지	0.07
5	초지	0.15
6	산림지역	0.1
7	농업지역	0.035

지표면에서의 불투수 영역은 강우가 발생하더라도 토양으로의 침투가 발생되지 않는 영역을 의미한다. 사공호상(2003)은 1m의 공간해상도를 가지는 IKONOS 위성영상을 이용해서 토지피복을 표 2.4와 같이 투수지역과 불투수지역으로 구분하고, 이를 안양시의 토지용도별 항목에 적용함으로써 토지용도별 불투수율을 산정하였다. GRM에서는 사공호상(2003)의 연구 결과 중 환경부의 토지피복도 대분류 속성에 대응하는 항목에 대한 불투수율을 적용하였으며, 이는 표 2.5와 같다. 표 2.5에서 불투수율은 0~1의 범위를 가지며, 불투수율이 "1"인 경우 해당 토지피복 속성을 가지는 격자는 모두 불투수 영역으로 설정된다. 또한 수역과 습지에서의 토양은 항상 포화된 것으로 볼 수 있으므로, 강우에 의한 침투가 발생하지 않는 것으로 가정하고 불투수율을 "1"로 설정하고 있다.

표 2.5 투수성에 따른 토지피복 항목 분류(사공호상, 2003)

투수지역	불투수 지역
식생	도로
경작지	콘크리트 구조물
비닐하우스	아파트
하천	단독주택
나대지	연립주택
기타초지	주택 외 건물
철도	공장

표 2.6 토지피복도 속성별 불투수율(사공호상, 2003)

토지피복도 속성	토지이용 속성(사공호상, 2003)	불투수율	
		값의 범위	평균
산림지역	개발제한구역, 비시가화지역, 산림	0.001-0.05	0.025
농업지역	논	0.107-0.456	0.391
	밭	0.053-0.504	
	비닐하우스	0.422-0.842	
초지	초지	0.14-0.86	0.44
시가화/건조지역	상업지역	0.641-0.947	0.853
나지	나지	0.12-0.81	0.442
수역	-	-	1
습지	-	-	1

2.3 하폭

분포형 모형에서 하폭은 격자별 하도 유출을 모의하기 위한 중요한 매개변수이다. GRM에서는 사다리꼴 비대칭 복단면을 모의할 수 있으며, 이 때 하폭은 하도에서의 통수단면적을 결정하는데 큰 영향을 미치게 된다. 유역에서의 하천은 불규칙적인 복단면과 하폭을 형성하고 있으며, 이러한 다양한 하도의 형상을 모든 하천 격자에 대해서 입력하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 홍수 유출모의를 위해서는 객관성 있는 매개변수를 이용하여 모든 하천 격자에서 일관성 있는 모의결과를 얻을 수 있도록 하폭을 입력하는 것이 중요하며(오경두, 2009), 이를 위해서 격자에서의 흐름누적수를 이용하는 방법과 계획하폭 공식을 이용하는 방법을 적용할 수 있다.

2.3.1 흐름누적수를 이용하는 방법

유역 격자에서 흐름누적수는 하류에 있는 격자 일수록 크며, 일반적으로 하폭 또한 하류의 하폭이 상류에 비해서 넓다. 흐름누적수를 이용하는 방법은 이러한 현상을 반영하여 흐름누적수에 비례하여 하폭을 설정하는 방법이다. 이때 임의 검사체적(CV_i)에서의 하폭은 식 (2.3.1)과 같이 계산할 수 있다. 유역에서 최하류에 있는 격자는 최대 흐름누적수를 가진다. 식 (2.3.1)을 이용해서 계산된 하폭은 최하류 격자에서 최대값이 설정되고, 상류에 있는 격자 일수록 작은 값이 설정된다. 식 (2.3.1)을 이용해서 하폭을 결정할 경우 최하류 격자에 해당하는 지점의 실측 하폭을 적용할 수 있으며, 이를 이용하여 상류 격자에 대해 일관된 방법으로 하폭을 설정할 수 있다(최윤석, 2010).

$$b_i = \frac{FA_i \times b_{max}}{FA_{max}} \quad (2.3.1)$$

여기서 b_i : CV_i 에서의 하폭, FA_{max} : 최하류 검사체적의 흐름누적수, FA_i : CV_i 에서의 흐름누적수, b_{max} : 최하류 검사체적에서의 하폭

2.3.2 계획하폭 공식을 이용하는 방법

건설교통부(2005)에서는 하도계획 수립시 계획홍수량에 따른 계획하폭의 설정을 위해서 경사와 유역 면적과 같은 지형적 특성을 이용한 경험공식을 제안하고 있다. 남부지방(호남, 영남)에서는 식 (2.3.2), 중부지방(경기, 강원, 충청북)에서는 식 (2.3.3)을 적용한다.

$$B = 1.698 \frac{A_w^{0.318}}{S_0^{0.5}} \quad (2.3.2)$$

$$B = 1.303 \frac{A_w^{0.318}}{S_0^{0.5}} \quad (2.3.3)$$

여기서 A_w : 유역면적 [km^2]

계획하폭 공식을 이용하여 격자별 하폭을 계산하기 위한 유역면적(A_w)으로는 각 격자별 유역면적을 적용하며, 격자별 유역면적은 해당 격자의 흐름누적수와 격자 면적의 곱으로 다음 식과 같이 계산된다. 또한 하상경사(S_0)는 모형의 입력자료인 경사 레이어에서 설정된 각 격자별 경사를 적용할 수 있다.

$$A_{wi} = (FA_i + 1) \times (\Delta y)^2 \quad (2.4)$$

여기서 A_{wi} : 임의 검사체적 i 의 유역 면적

2.4 초기포화도

초기포화도는 침투해석시 침투율, 최대 가능침투량 등을 계산할 때 사용되는 매개변수로써 유출해석 시점에서의 선행강우에 의한 토양의 포화도를 나타내고 있다. 초기포화도는 모형 보정 과정에서 "0~1"의 범위에서 추정되며, 선행강우가 클수록 1에 가까워 질 수 있다.

2.5 최소경사

운동파 모형에서는 유속의 계산을 위해서 마찰경사로 지면의 경사를 사용하고 있다. DEM의 flat area 보정 과정에서는 원본 DEM의 변형을 최소화하기 위해서 매우 작은 값의 고도 보정이 이루어지며, 따라서 flat area 처리 과정을 거친 영역의 지면 경사는 매우 작은 값을 가질 수 있다. 이와 같은 매우 작은 지면 경사를 운동파 모형에 적용할 경우에는 유속과 유량이 "0"에 가까운 값으로 계산되며, Henderson(1966)과 ASCE(1996)는 홍수파 해석시 0.002(10ft/mi) 이상의 하상경사를 가지는 하천에서 운동파 모형을 적용하는 것이 적절함을 제시한 바 있다.

하도 및 지표면 최소경사 매개변수는 DEM의 flat area 보정 과정에서 발생된 매우 작은 경사값을 가지는 격자를 포함하고 있는 경사레이어를 운동파 모형에 적용하기 위해 사용자에게 의해서 추정되는 매개변수이다. 최소경사는 홍수추적에서 유속의 계산에 관여함으로써 유량과 홍수파의 도달시간에 영향을 미치게 되며, 유역과 하천의 특성 및 적용된 DEM의 특성을 고려하여 유출모의 과정에서 추정되어야 한다.

2.6 하도 조도계수

하도의 조도계수는 하도의 형태, 바닥의 구성 물질, 식생, 관리여부에 따라서 다양한 값을 가질 수 있다(Chow, 1959). Chow(1959)는 하도의 조도계수 선정에 대한 기존의 연구를 종합하여 다양한 하도 조건에 대한 조도계수를 제안한 바 있으며, 이 중 자연 하천에 대한 조도계수는 표 2.6과 같다. Chaudhry(1993)는 자연 하천에서의 조도계수로 "Clean, straight, full stage, no rifts or deep pools", "Bottom: gravels, cobbles, and few boulders" 및 "Bottom: cobbles with large boulders"를 제안하고 있으나, 실제 유출모의에서는 대상 유역의 하도 특성을 반영할 수 있는 하도 조건과 각 하도 조건별 조도계수의 범위 내에서 추정되는 것이 바람직하다.

표 2.7 자연 하천에서의 조도계수(Chow, 1959)

구 분		조도계수		
		최소	보통	최대
Streams on plain	Clean, straight, full stage, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
	Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
	Clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
	Same as above, but some weeds and stones(㉠)	0.035	0.045	0.050
	Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.040	0.048	0.055
	Same as ㉠, but more stones	0.045	0.050	0.060
	Sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.080
	Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stand of timber and underbrush	0.075	0.100	0.150
Mountain streams, no vegetation in channel, banks usually steep, trees and brush along banks submerged at high stage	Bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0.030	0.040	0.050
	Bottom: cobbles with large boulders	0.040	0.050	0.070

2.7 건천차수

GRM은 하폭 내에서 발생한 강우에 대해서는 모든 강우가 직접유출에 기여하는 것으로 모의한다. 따라서 입력된 하천 래스터 레이어의 하천망이 조밀할 경우 작은 강우에 의해서도 직접유출이 크게 모의될 수 있다. 그러나 자연하천에서는 선행강우가 작을 경우 하천 상류에 있는 지류는 건천일 경우가 있으며, 건천에서는 침투과정이 먼저 발생하게 된다.

건천에서의 초기 침투현상을 유출해석시 반영하기 위해서 GRM에서는 건천차수를 이용하고 있다. 입력된 하천망이 조밀할 경우 선행강우량, 하천유출량 등을 고려하여 건천차수를 입력할 수 있으며, 건천으로 설정된 하천은 지표면 유출과 동일한 과정을 거쳐서 직접유출량이 계산된다. 건천차수는 "0 ~ 최대하천차수"의 범위에서 추정된다. 건천차수 매개변수를 유출해석시 적용하기 위해서는 하천망 래스터 레이어에 하천차수 정보가 입력되어 있어야 한다. HyGIS 등과 같은 수문학적 지형정보 생성 SW에서는 하천망 래스터 레이어 생성시 셀 값으로 하천차수가 입력되며, 최대하천차수는 입력된 하천망 래스터 레이어를 통해서 확인할 수 있다.

2.8 매개변수 보정계수

유출모의에 적용된 토지피복 및 토양 속성에 부여된 조도계수와 Green-Ampt 모형의 매개변수를 일정한 비율로 보정하고자 할 경우에는 각각의 매개변수에 대한 보정계수를 적용할 수 있다. 매개변수 보정계수는 모의 대상 전체 격자에 대해서 각 매개변수에 곱해지는 값으로 1을 입력할 경우 대상 매개변수는 초기에 설정된 값이 그대로 유출모의에 적용된다.

2.9 매개변수 추정

물리적 기반의 모형에서는 현장조사에 의해서 구축된 공간자료를 이용하여 설정된 매개변수는 실제 값을 대표한다는 가정을 바탕으로 하고 있다. 따라서 유출해석 과정에서 사용자에게 의해서 추정되는 주요 매개변수는 초기포화도, 하도 최소경사, 하도 조도계수, 투수계수, 토양심 등과 같이 모든 셀에 대해서 관측값의 설정이 어렵고, 불확실성과 유출해석 민감도가 상대적으로 큰 매개변수를 대상으로 한다.

GRM 모형은 단기간에 발생하는 호우사상의 유출모의를 목적으로 하고 있다. 그러므로 모형 보정은 침투유량, 침투시간 및 총유출량에 대해서 실측 수문곡선을 재현하는 것을 주요 대상으로 하며, 계산된 수문곡선의 전체적인 형태가 관측수문곡선을 잘 재현하는지를 추가적으로 고려한다. 모형의 보정은 유출모의시 일반적으로 적용되는 시행착오법을 적용할 수 있으며, PEST를 이용한 모형보정 도구를 제공한다. PEST를 이용한 모형보정 방법은 후술되어 있는 GRM-PEST 모듈의 사용방법 부분에 좀더 상세히 기술되어 있다.

모형의 적합도 평가는 침투유량, 침투시간, 총유출량에 대한 상대오차, 유출해석 시계열 자료의 평균제곱근오차(RMSE), 정규화된 평균제곱근오차(nRMSE), 평균상대오차(MAPE), 상관계수(CC), 모형 효율계수(ME, Nash-Sutcliffe efficiency) 등을 이용할 수 있다(노성진 등 2014; Choi et al., 2015)

3. 다지점 보정

대부분의 분포형 모형에서는 단일 유역에 대해서 동일한 격자 크기를 가지도록 모형을 구축하고, 격자별로 설정된 하나의 매개변수군을 이용한 유출해석을 수행하고 있다. 이때 상이한 유출특성을 가지는 다수의 소유역을 포괄하는 유역(Ajami et al, 2004)의 경우 하나의 매개변수군을 이용한 유출해석은 소유역의 물리적 및 수문학적 특성이 모형에 적절히 반영되기 어려운 문제점이 있다.

분포형 모형은 격자로 구분된 유역내 임의 지점에 대해서 손쉽게 유출해석 결과를 얻을 수 있는 장점이 있다(Beven and O'Connell, 1982). 이때 모형 보정지점 외의 다른 임의 지점에 대한 유출해석 결과의 신뢰성을 향상시키기 위해서는 유출해석 결과를 출력하는 지점의 유역과 모형 보정지점 유역간에 물리적, 수문학적 유사성을 확보할 수 있도록 모형을 구축해야 한다(Pilgrim, 1983; Dawson et al., 2006). 모형 보정 유역과 유출해석 결과를 출력하는 유역의 물리적, 수문학적 유사성을 확보하기 위한 가장 직관적인 방법은 유출해석 결과 출력 지점과 가까운 지점에 대해서 모형을 보정할 수 있도록 모형을 구축하는 것이며(Ajami et al., 2004; Merz, R. and Blöschl, 2004; Young, 2006), 이를 위해서는 유역내 다수의 지점에 대해서 모형을 보정(다지점 보정)할 수 있어야 한다.

다지점 보정 기법은 하나의 유역시스템에서의 다지점 보정과 다수의 소유역시스템을 연계한 다지점 보정으로 구분된다. 하나의 유역은 유역내에 검증 가능한 유량 관측소가 다수 있을 경우, 이를 이용하여 다수의 소유역으로 분할 할 수 있다. 단일 유역 다지점 보정 기법은 하나의 유역에 있는 다수의 유량관측소를 기준으로 구분된 소유역 영역(격자 기반 모형)이므로 실제적으로는 유역분할이 필요하지는 않음)들에 대해서 해당 관측유량을 이용해서 일괄적으로 모형을 보정할 수 있는 기법이다. 이 기법에서 모든 소유역은 같은 크기의 격자로 구성되어 있으므로 소유역별로 다양한 해상도를 적용할 수 없으나, 하나의 유역내 다수의 지점에 대해서 간편하게 모형을 보정할 수 있는 장점이 있다.

소유역 연계 다지점 보정 기법은 GRM 모형의 flow control 모듈을 이용하여 각 유역의 유출해석 결과를 연계함으로써 다수의 유역을 합친 전체 영역에 대한 유출해석 결과를 향상시킬 수 있는 기법이다. 이때 각 소유역은 독립된 유역시스템으로써 서로 다른 해상도를 적용할 수 있을 뿐만아니라, 소유역별 특성에 적합한 자료를 개별적으로 적용함으로써 각 소유역의 특성을 최대한 반영할 수 있는 장점이 있다. 또한 각 소유역은 개별적 프로세스에 의해서 유출해석이 진행되므로, 프로세스 분할에 의한 병렬계산 효과로 인하여 전체 유역 계산에 소요되는 시간을 단축시킬 수 있다. 일반적인 수문사상 모의에서 소유역 연계 다지점 보정기법은 하나의 유출해석 결과 시계열 전체를 다른 유역의 flow control 모듈에 일괄 적용하는 과정을 거친다. 그러나 실시간 유출해석시스템에서는 GRM 모형의 실시간 해석모듈(GRM RT, GRM Real Time)을 이용해서 강우자료 뿐만아니라 Flow control 입력자료 또한 실시간으로 입력되어야 하며, 각 소유역이 동적으로 연계되어 유출해석이 진행된다.

3.1 단일 유역 다지점 보정 기법

소유역 연계 다지점 보정 기법은 모형보정 대상 유역별로 각기 다른 격자 크기로 유역을 구성할 수 있는 장점이 있으나, 각 유역별 입력 자료를 독립적으로 구축하고 모형보정 또한 유역별로 분리된 프로세스에서 수행해야 하는 불편함이 있다. 이러한 모형구축 과정은 매우 복잡할 뿐만 아니라, 소유역간의 유량보존 및 홍수추적 문제를 안정적 해석하고 모델링 시스템을 신뢰성 있게 운영하기 위해서는 많은 노력이 필요하다.

단일 유역 다지점 보정 기법은 동일한 격자 크기를 가지는 유역에 대해서 하나의 유역시스템으로 모형을 구축하고, 유역내 다수의 유량관측소에 대해서 일괄적으로 모형을 보정하기 위한 기법이다. 소유역으로 구분된 유역자료를 이용하여 소유역별로 매개변수를 설정하고, 소유역별로 모형을 보정한다. 다지점 보정 모듈에서는 임의 유역에 대해서 설정된 매개변수를 상류 영역 전체에 적용하는 것을 기본 정책으로 하며, 상류에 있는 소유역 중 매개변수를 설정한 소유역이 없을 경우에는 단일 매개변수군이 적용된다(최윤석 등, 2012).

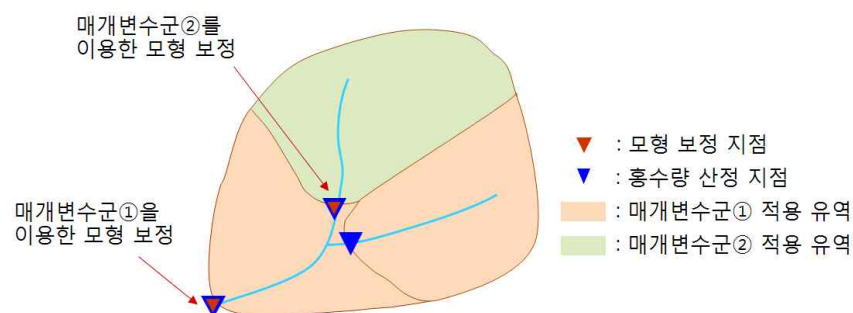


그림 3.1 다지점 보정 매개변수 적용 방법

표 3.1 GRM 모형의 다지점 보정 대상 매개변수

구분	다지점 보정 대상 매개변수	영문약어
지형관련	지표면 최소경사	MinSlopeOF
	하도 최소경사	MinSlopeChBed
	최소하폭	MinChBaseWidth
	하도 조도계수	ChRoughness
	건천차수	DryStreamOrder
토지피복, 토양 관련	지표면 조도계수 보정계수	CalCoefLCRoughness
	공극률 보정계수	CalCoefPorosity
	습윤전선 흡인수두 보정계수	CalCoefWFSuctionHead
	수리전도도 보정계수	CalCoefHydraulicK
	토양심 보정계수	CalCoefSoilDepth
수문 조건	초기포화도	IniSaturation
	초기유량	IniFlow

GRM 모형은 xml 형식의 프로젝트 파일을 이용해서 모델링 프로젝트의 환경과 매개변수를 저장한다. 다지점 보정 정보는 xml 프로젝트 파일에 소유역 매개변수 테이블로 저장된다. 소유역 매개변수 테이블은 소유역 번호를 키 값으로 하고, 소유역별로 입력된 매개변수를 저장하고 있으며, 프로젝트 열기 명령을 통해서 기존에 저장된 소유역별 매개변수를 재사용 할 수 있다.

표 3.2 소유역 매개변수 테이블 명세서

필드명	설명	데이터형	Nullable
ID	소유역 번호. 키 필드	Integer	False
IniSaturation	초기포화도	Single	False
MinSlopeOF	지표면 최소경사	Single	False
MinSlopeChBed	하상 최소경사	Single	False
MinChBaseWidth	최소하폭	Single	False
ChRoughness	하도 조도계수	Single	False
DryStreamOrder	건천차수	Integer	False
IniFlow	하도 초기유량	Single	True
CalCoefLCRoughness	지표면 조도계수 보정계수	Single	False
CalCoefPorosity	토양 공극률 보정계수	Single	False
CalCoefWFSuctionHead	토양 습윤전선 흡입수두 보정계수	Single	False
CalCoefHydraulicK	토양 포화수리전도도 보정계수	Single	False
CalCoefSoilDepth	토양심 보정계수	Single	False
IsUserSet	사용자에 의한 매개변수 설정 여부	Boolean	False

3.2 소유역 연계 다지점 보정 기법

다양한 수문학적 특성과 면적을 가지는 유역에 대해 물리적 모형을 이용하여 신뢰성 있는 유출해석을 수행하기 위해서는 각 유역의 특성에 적합한 모형의 구축이 필요하다. 분포형 모형을 이용한 유출해석에서는 일반적으로 단일 유역 시스템에 대해서 동일한 격자크기를 가지도록 모형을 구축하고, 동일한 매개변수 군을 이용한 유출해석을 수행하였다. 그러나 상이한 유출특성을 가지는 다수의 소유역에 대해서 단일 격자 크기로 모형을 구축하고 단일 매개변수군을 이용해서 모형을 보정할 경우, 소유역의 물리적 및 수문학적 특성이 적절히 반영되기 어렵다. 그러므로 유역 특성별로 각기 다른 유역 시스템을 구축하고, 각 유역 시스템을 통합 모델링 할 수 있는 기술이 필요하다.

소유역 연계 기반의 다지점 보정 기법은 GRM의 Flow control 모듈을 이용해서 소유역별로 모형을 구축하고, 각 소유역의 유출해석 결과를 연계함으로써 전체 유역의 유출해석을

수행할 수 있는 기법이다. 이때 상류에 있는 유역의 유출해석 결과는 Flow control 모듈의 Inlet 기능을 이용하여 하류에 있는 소유역으로 전달된다(소방방재청, 2012; 한국건설기술연구원, 2015).

소유역 연계 기반의 다지점 보정 기법에서는 소유역별 특성을 반영하여 격자 크기를 다르게 모형을 구축할 수 있으며, 소유역별로 최적화된 모형 보정이 가능하다. 이를 통해서 단일 유역 시스템에서 최하류 지점만을 보정한 유출해석 결과에 비해 유역내 임의 지점에 대한 유출해석 결과를 향상시킬 수 있다.

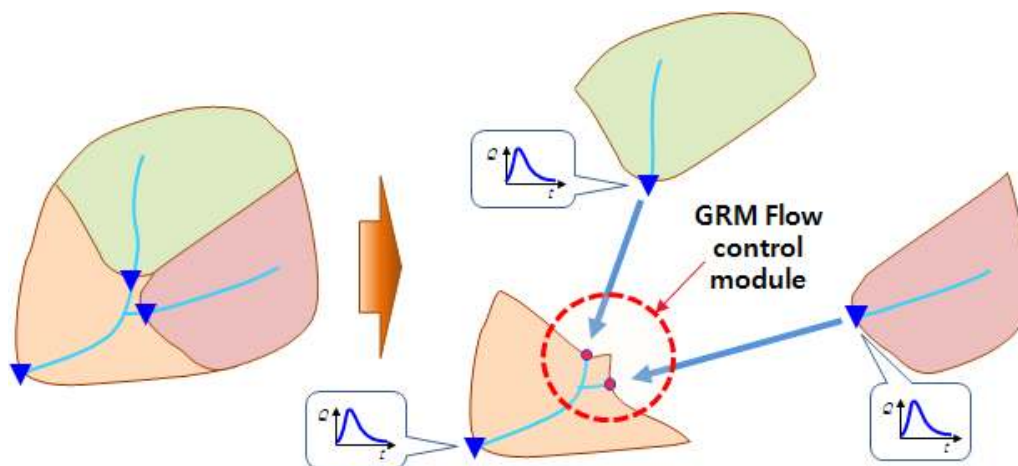


그림 3.2 소유역 연계 다지점 보정 기법의 개념도

4. 입출력 자료 및 데이터모델

4.1 입력자료

MW-GRM은 DEM, 토양도 및 토지피복도를 이용해서 생성된 지형 및 공간자료와 강우 래스터 레이어를 입력자료로 이용한다. DEM 분석을 통해서 생성되는 유역, 경사, 흐름방향, 흐름누적수, 하천망 레이어는 수문학적 공간정보를 생성할 수 있는 GIS 도구를 이용해서 생성할 수 있다. 토지피복도 및 토양도를 이용해서 생성되는 GIS 도구를 이용해서 대상 유역의 해상도로 리샘플링하여 래스터 레이어를 생성한다. 입력자료 생성을 위한 GIS 도구는 HyGIS, ArcGIS 등과 같이 DEM 분석을 통한 수문학적 공간정보 생성 도구를 포함하고 있는 범용 S/W를 이용할 수 있다. MW-GRM은 MapWindow GIS에서 기본적으로 활동되는 GeoTiff 래스터 포맷을 이용한다. 그러므로 GIS 도구를 이용해서 생성된 다양한 포맷의 레이어를 GeoTiff 혹은 ESRI ASCII 포맷으로 변환하여 모형에 적용한다.

표 4.1 GRM의 입력자료

구분	자료의 종류	포맷	활용 가능한 원본 데이터	비고
지형	유역경계	GeoTiff	DEM (수치 지형도, 원격탐사 영상)	하천망과 하폭 레이어는 선택적 입력
	경사			
	흐름방향			
	흐름누적수			
	하천망			
	하폭			
토지피복	토지피복도	GeoTiff	환경부 토지피복도 원격탐사 영상	GRM 매개변수는 환경 부 대분류 토지피복 속 성을 참조값으로 제공
토양	토성		정밀토양도 글로벌 토양정보	
	토양심			
수문	강우	GeoTiff	관측, 예측	래스터 형식의 분포형 강우 시계열 레이어
		ASCII		유역 평균강우량 시계열
		텍스트		모의기간 시점에서의 관 측유량
	초기유량	텍스트	관측, 예측	

GRM에서 사용하는 흐름방향 정보는 D8 방법에 의한 단방향 흐름정보로서, 흐름방향 래스터 레이어의 값(흐름방향 인덱스)에 의해서 흐름방향을 판단한다. GRM에서는 1시 방향(북동, NE)을 1로 설정하는 방법과 12시 방향(북, N)을 1로 설정하는 방법을 모두 적용할 수 있다. DEM으로부터 흐름방향 정보를 생성하는 경우, GIS S/W 마다 흐름방향에 대응하는 인덱스가각기 다를 수 있으므로, 흐름방향 레이어 적용시 주의해야 한다.

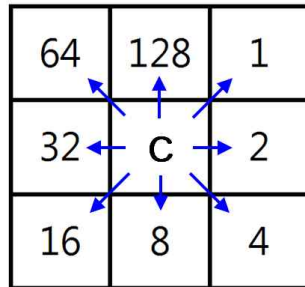


그림 4.1 1방향에서 시작하는 흐름방향 인덱스

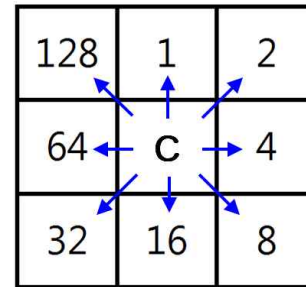


그림 4.2 12방향에서 시작하는 흐름방향 인덱스

4.2 출력자료

GRM에서의 모든 수문성분은 유역내 모든 격자에서 계산되며, 사용자는 계산결과를 출력할 셀을 watch point로 지정한다. Watch point로 설정된 셀에서의 계산결과는 mdb와 텍스트 파일로 저장된다. 주요 계산결과는 유량이며, 수심의 경우 단순 참고만 할 수 있고 정확한 수심은 GRM이 아닌 하천 수리 모형을 통해서 계산되어야 한다. Watch point 별로 만들어 지는 계산결과 파일에서는 유량, 수심, 포화도 등과 같은 다양한 결과를 포함하고 있다.

표 4.2 GRM의 모의결과 파일

출력파일	내용
[Project name]Discharge.out	모든 Watch point에서의 유량 계산결과 유역 전체 평균 강우량 출력 시간간격 동안에 소요된 계산시간 현재 시간까지 소요된 계산시간
[Project name]Depth.out	모든 Watch point에서의 수심 계산결과 유역 전체 평균 강우량 출력 시간간격 동안에 소요된 계산시간 현재 시간까지 소요된 계산시간
[Project name]FCData.out	모든 Watch point에서의 Flow control 자료 ** Flow control셀이 watch point로 지정된 경우에만 기록됨
[Project name]FCStorage.out	모든 Watch point에서의 저수지 저류량 ** ROM이 적용된 셀에 대해서 watch point가 지정된 경우에만 기록됨
[Project name]RFGrid.out, [Project name]RFUpMean.out	모든 Watch point에서의 격자 강우량 모든 Watch point에서의 상류 평균 강우량
[Project name]WP_[watchpoint name].out	대상 watch point에서 출력되는 모든 계산결과 (유량, 수심, 하천셀의 경우 기저유량, 누가침투량, 토양포화도, 격자 강우량, watch point 상류 평균 강우량, Flow control 자료, 저류량) ** Watch point마다 하나의 파일씩 생성
[Project name]WSPars.out	유출계산시 사용된 유역 매개변수 (유역 ID, 사용자 매개변수 설정 여부, 다지점 보정 매개변수) ** 단일 유역 다지점 보정시에는 모든 소유역에서의 매개변수가 저장됨

4.3 데이터 모델

MW-GRM은 GRM 모델을 MapWindow GIS 환경에서 구동하기 위한 Plug-in이다. MW-GRM은 GIS와 완전 연계된 모형으로 격자 형태의 그리드 자료와 mdb 및 텍스트 파일을 모두 직접 참조한다. 따라서 GIS를 이용하여 생성한 자료의 파일변환 과정이 필요하지 않으며, 하나의 시스템에서 입력자료의 생성, 편집, 속성 조회, 보정 등의 과정을 손쉽게 수행할 수 있다.

MW-GRM의 데이터 모델은 공간 정보인 래스터 데이터셀과 비공간 및 시계열 정보 데이터베이스(Static DB, Dynamic DB)로 구성되며, HyGIS-Model의 시스템 구성(한국건설기술연구원, 2011)을 참고하여 개발되었다. HyGIS, TauDEM, TOPAZ 등과 같이 DEM으로부터 수문학적 공간정보를 생성할 수 있는 GIS 도구를 이용하여 GRM의 입력 공간정보 래스터 자료를 생성한다. 토지피복과 토양에 관련된 모형의 매개변수는 GRM Static Non-spatial DB에 저장되어 있으며, 이를 이용하여 각 속성별 매개변수의 기본값을 설정한다. 모형의 구동과정에서 설정된 매개변수와 유출모의 결과는 GRM Dynamic DB와 텍스트 파일에 저장되며, 표와 그래프로 조회할 수 있다(Choi et al., 2015).

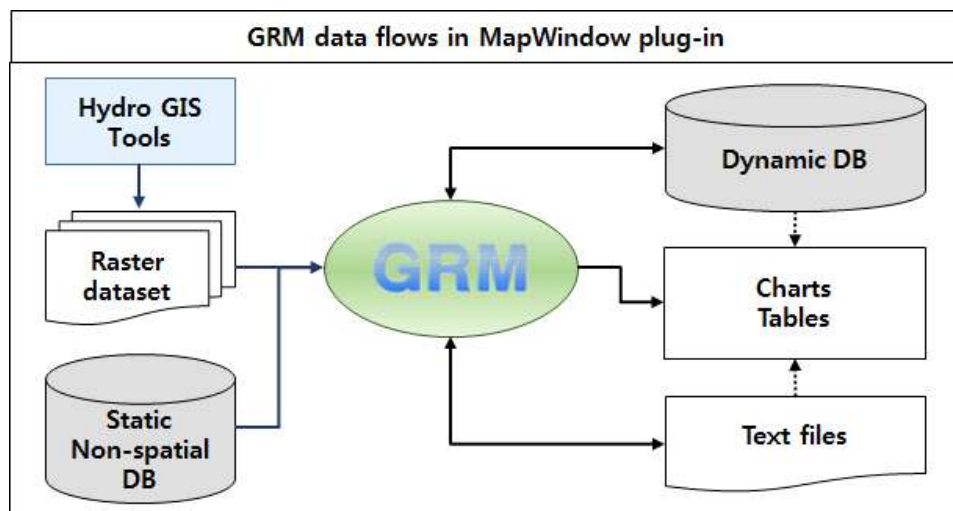


그림 4.3 MW-GRM의 데이터 흐름

4.3.1 공간 데이터

MW-GRM은 GeoTIFF와 ESRI ASCII 포맷의 래스터 데이터를 입력자료로 이용하며, GRM 모형 구동에 필요한 래스터 자료는 다음의 표와 같다. GRM에서는 텍스트로 된 유역 평균 강우와 공간 분포된 강우 래스터 레이어를 선택해서 적용할 수 있다. 이때 분포형 강우 래스터 레이어는 강우관측소에서 관측된 지점 강우를 공간보간하거나 레이다 혹은 수치예보자료 등과 같은 분포형 강우 자료를 이용하여 생성한다(한국건설기술연구원, 2015).

표 4.3 GRM 입력 래스터 데이터셀

데이터 셀 이름		정의	데이터 형
한글	영문		
유역	Watershed	유역 영역이 구분된 레이어	Integer
경사	Slope	격자별로 부여된 최급경사 정보	Double
흐름누적수	FlowDirection	D8 방법에 의한 단방향 흐름 정보	Integer
흐름방향	FlowAccumulation	흐름누적수	Integer
하천망	Stream	하천망	Integer
하폭	ChannelWidth	하천망과 동일한 위치에 입력된 하폭 정보	Single
토성	SoilTexture	토성	Integer
토양심	SoilDepth	토양심	Integer
토지피복도	LandCover	토지피복	Integer
강우	Rainfall	격자 형태로 분포된 강우량[mm]	Single

4.3.2 시계열 및 비공간 데이터

GRM의 비공간 및 시계열 데이터베이스는 다음 표와 같이 구성되어 있다. GRM의 비공간 데이터베이스는 Static 데이터베이스와 Dynamic 데이터베이스로 구분되며, Dynamic 데이터베이스는 Dynamic 시계열 데이터베이스를 포함하고 있다. Static 데이터베이스(GRMStaticDatabase.mdb)는 GRM 모형에서 이용되는 토양과 토지피복에 대한 매개변수의 참조 값을 저장하고 있다. Dynamic 데이터베이스(GRM 프로젝트이름.mdb)는 프로젝트 단위로 운영되는 GRM의 프로젝트 데이터베이스로서 모형의 구동환경, 사용되는 자료, 매개변수 및 모의결과를 저장한다(한국건설기술연구원, 2011b).

표 4.4 GRM의 비공간 및 시계열 데이터베이스의 테이블 정의

구분		테이블 명	정의
Static		GreenAmptSoilParameter	토성별 Green-Ampt 매개변수 값
		SoilDepthParameter	토양심 계급별 토양심 값
		LandCoverParameter	토지피복 속성별 조도계수, 불투수율
D y n a m i c	Input	GreenAmptParameter	입력된 토성 레이어 속성과 유출모의에 적용된 Green-Ampt 매개변수
		SoilDepth	입력된 토양심 레이어 속성과 유출모의에 적용된 토양심 값
		LandCover	입력된 토지피복 레이어 속성과 유출모의에 적용된 조도계수 및 불투수율
		UserChannelWidth	사용자 수정 하폭 정보
		WatchPoints	사용자 지정 출력 대상 격자 정보
		FlowControlGrid	사용자 지정 흐름조절 대상 격자, 흐름조절 형태, 자료의 특성, 저수지 제원, ROM 정보
		FlowControlData	흐름조절 대상 격자에 입력된 시계열 정보
		Rainfall	시계열 강우 정보
	Output	ProjectInfo	현재 프로젝트의 모의환경 정보
		TimeSeriesDataSummary	모의결과 및 관측값의 내용 요약
		OutputDischarge	모의결과(유량)
		OutputDepth	모의결과(수심)
		RainfallWPGrid	Watch point에 대한 격자 강우량
		RainfallWPUUpMean	Watch point에 대한 상류 평균 강우량
		FCDataWP	Watch point에 대한 흐름조절 모의결과
		FCResStorage	모의결과(저수지 저류량)
		ObservedData	Watch point에 대한 관측자료
		WPTS	Watch point에 대한 모든 시계열 자료

표 4.5 LandCoverParameter 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형
LandCoverE	토지피복 영문 이름	String
LandCoverK	토지피복 한글 이름	String
LandCoverCode	토지피복 코드	String
RoughnessCoefficient	조도계수	Single
ImperviousRatio	불투수율	Single

표 4.6 GreenAmptSoilParameter 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형
SoilTextureE	토성 영문 이름	String
SoilTextureK	토성 한글 이름	String
SoilTextureCode	토성 코드	String
PorosityMin	공극율 최소값	Single
PorosityMax	공극율 최대값	Single
PorosityDefault	공극율 기본값	Single
EffectivePorosityMin	유효공극율 최소값	Single
EffectivePorosityMax	유효공극율 최대값	Single
EffectivePorosityDefault	유효공극율 기본값	Single
ResidualMoistureContent	잔류 수분함량	Single
WFSoilSuctionHeadMin	습윤전선 흡인수두 최소값	Single
WFSoilSuctionHeadMax	습윤전선 흡인수두 최대값	Single
WFSoilSuctionHeadDefault	습윤전선 흡인수두 기본값	Single
HydraulicConductivity	수리전도도	Single

표 4.7 SoilDepthParameter 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형
GRMCode	토양심 코드	String
SoilDepthClassE	토양심 계급 영문 이름	String
SoilDepthClassK	토양심 계급 한글 이름	String
SoilDepthMin	최소 토양심	Single
SoilDepthMax	최대 토양심	Single
SoilDepthDefault	토양심 기본값	Single

표 4.8 LandCover 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형
GridValue	토지피복 래스터 레이어의 값	Integer
UserLandCover	사용자 지정 토지피복 속성	String
GRMLandCoverCode	토지피복 코드	String
GRMLandCoverE	토지피복 영문 이름	String
GRMLandCoverK	토지피복 한글 이름	String
RoughnessCoefficient	조도계수	Single
ImperviousRatio	불투수률	Single

표 4.9 GreenAmptParameter 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형
GridValue	토성 래스터 레이어의 값	Integer
USERSoil	사용자 지정 토성 속성	String
GRMCode	토성 코드	String
GRMTextureE	토성 영문 이름	String
GRMTextureK	토성 한글 이름	String
Porosity	공극율	Single
EffectivePorosity	유효공극율	Single
WFSoilSuctionHead	습윤전선 흡인수두	Single
HydraulicConductivity	수리전도도	Single

표 4.10 SoilDepth 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형
GridValue	토양심 래스터 레이어의 값	Integer
UserDepthClass	사용자 지정 토양심 속성	String
GRMDepthCode	토양심 코드	String
SoilDepthClassE	토양심 영문 이름	String
SoilDepthClassK	토양심 한글 이름	String
SoilDepth	토양심 값	Single

표 4.11 UserChannelWidth 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형
CVID	검사체적 번호	Integer
ColX	래스터 레이어에서의 열 번호	Integer
RowY	래스터 레이어에서의 행 번호	Integer
ChannelWidth	사용자 입력 하폭	Single

표 4.12 WatchPoints 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형
CVID	검사체적 번호	Integer
Name	Watch point 이름	String
FlowAccumulation	흐름누적수	Integer
CellType	흐름의 형태	String
Position	Watch Point 격자의 위치(열, 행)	String
APPiniFlow	초기유량 적용 여부	Boolean
IniFlow	초기유량	Single

표 4.13 FlowControlGrid 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형
CVID	검사체적 번호	Integer
ColX	래스터 레이어에서의 열 번호	Integer
RowY	래스터 레이어에서의 행 번호	Integer
Name	Flow control 격자의 사용자 지정 이름	String
ContolType	Flow control 종류	String
DT	시계열 자료의 시간간격	Integer
FlowDataSource	시계열 자료의 위치	String
IniStorage	저수지 초기 저류량	Single
MaxStorage	저수지 최대 저류량	Single
MaxStorageR	저수지 최대 저류가능 비율	Single
ROType	저수지 운영 종류	String
ROConstQ	일정 방류량	Single
ROConstQDuration	일정 방류 기간	Integer
ROSDEqA	저류량-방류량 관계식 계수	Single
ROSDEqB	저류량-방류량 관계식 계수	Single
ROSDEqC	저류량-방류량 관계식 계수	Single
ROSDEqD	저류량-방류량 관계식 계수	Single
ROSDEqE	저류량-방류량 관계식 계수	Single
ROSDEqF	저류량-방류량 관계식 계수	Single

표 4.14 FlowControlData 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형
CVID	검사체적 번호	Integer
DateTime	자료의 시간	String
Value	Flow control 모듈에서 입력된 값	Single

표 4.15 Rainfall 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형
Order	자료의 순서	Integer
RainfallTime	자료의 시간	String
Rainfall	강우량	Single
FileName	강우량 파일의 이름	String
FilePath	강우량 파일의 위치	String

표 4.16 ProjectInfo 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형
INFOID	프로젝트 정보 ID	Integer
INFOITEM	프로젝트 정보 항목	String
INFOVALUE	프로젝트 정보	String

표 4.17 TimeSeriesDataSummary 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형
CVID	검사체적 번호	Integer
WATCHPOINT	Watch point 위치(열, 행)	String
WPNAME	Watch point 이름	String
TS_TYPE	시계열 자료의 종류	String
UNIT	시계열 자료의 단위	String
TS_SOURCE	시계열의 생성 방법(모의 혹은 관측)	String
TIME_START	시계열 자료의 시작 시간	String
TIME_END	시계열 자료의 종료 시간	String
TS_COUNT	자료의 개수	Integer
MISSING_COUNT	결측치 개수	Integer
TS_SUM	시계열 자료의 합	Single
MAXIMUM	시계열 자료의 최대값	Single
MAX_TIME	시계열 자료의 최대값 발생 시간	String
RFGid_SUM_mm	Watch point 격자 강우의 합	Single
RFMean_SUM_mm	Watch point 격자 상류 평균 강우의 합	Single

표 4.18 OutputDischarge 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형
DataNo	자료의 순서	Integer
DateTime	자료의 시간	String
<i>Watch point name</i>	현재 Watch point에서의 유량 모의결과	Single
...	<i>Watch point 개수에 따라 추가</i>	Single
Rainfall_Mean	유역 전체 평균 강우량	Single
ThisStep_sec	현재 출력 시간간격 동안에 소요된 계산시간	Integer
FromStarting_sec	현재까지 소요된 계산시간	Integer

표 4.19 OutputDepth 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형
DataNo	자료의 순서	Integer
DateTime	자료의 시간	String
Watch point name	현재 Watch point에서의 수심 모의결과	Single
· · ·	Watch point 개수에 따라 추가	Single
Rainfall_Mean	유역 전체 평균 강우량	Single
ThisStep_sec	현재 출력 시간간격 동안에 소요된 계산시간	Integer
FromStarting_sec	현재까지 소요된 계산시간	Integer

표 4.20 RainfallWPGrid 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형
DataNo	자료의 순서	Integer
DateTime	자료의 시간	String
Watch point name	현재 Watch point에서의 격자 강우량	Single
· · ·	Watch point 개수에 따라 추가	Single

표 4.21 RainfallWPUpMean 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형
DataNo	자료의 순서	Integer
DateTime	자료의 시간	String
Watch point name	현재 Watch point 상류의 평균 강우량	Single
· · ·	Watch point 개수에 따라 추가	Single

표 4.22 FCDataWP 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형
DataNo	자료의 순서	Integer
DateTime	자료의 시간	String
Watch point name	현재 Watch point에서의 Flow control 자료	Single
· · ·	Watch point 개수에 따라 추가	Single

표 4.23 FCResStorage 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형
DataNo	자료의 순서	Integer
DateTime	자료의 시간	String
<i>Watch point name</i>	현재 Watch point에서의 저수지 저류량	Single
· · ·	<i>Watch point 개수에 따라 추가</i>	Single

표 4.24 ObservedData 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형
DataNo	자료의 순서	Integer
DateTime	자료의 시간	String
<i>TSID</i>	시계열 자료의 ID	Single
...	<i>관측 시계열 개수에 따라 추가</i>	Single

표 4.25 WPTS 테이블 명세서

필드 명	정의	데이터 형
DataNo	자료의 순서	Integer
DateTime	자료의 시간	String
Discharge	모의결과 유량	Single
Depth	모의결과 수심	Single
RFGrid	격자 강우량	Single
RFUpMean	격자 상류 평균 강우량	Single
FCData	Flow control 자료	Single
FCResStor	저수지 저류량	Single

5. GRM의 사용자 모듈

GRM 모형은 유출해석 목적에 따라서 3가지 모듈로 구분되고, 자동보정, post-processor, data processor를 포함하여 총 6가지의 사용자 모듈을 제공한다. 유출해석 목적에 따른 구분으로는 일반적인 홍수사상 모의에 사용되는 단일 호우사상 유출해석을 위한 기본 모듈인 GRM 모듈, 다수의 GRM 프로젝트를 GUI 없이 console 창에서 일괄 모의할 수 있는 GRM MP(GRM Multiple Projects), 실시간 유출해석을 위한 GRM RT(GRM Real Time)로 구성되어 있다. GRM 모형은 MapWindow GIS의 Plug-in(MW-GRM)으로 구동할 수 있으며, 사용자 GUI를 제공한다. GRM-MP는 GRM 모형의 GUI 없이 프로젝트 파일(.gmp)과 입력자료를 이용해서 console 창에서 유출계산을 한다. GRM RT에서는 실시간으로 수집되는 강우자료를 이용해서 유출해석을 수행하며, 실시간 유출해석 과정에서 초기에 설정된 매개변수를 수정할 수 있다. GRM RT는 GRM에서 API(Application Programming Interface)로 제공되며, 실무 차원의 실시간 유출해석시스템 구축을 통해서 응용프로그램으로 구현된다(한국건설기술연구원, 2015).

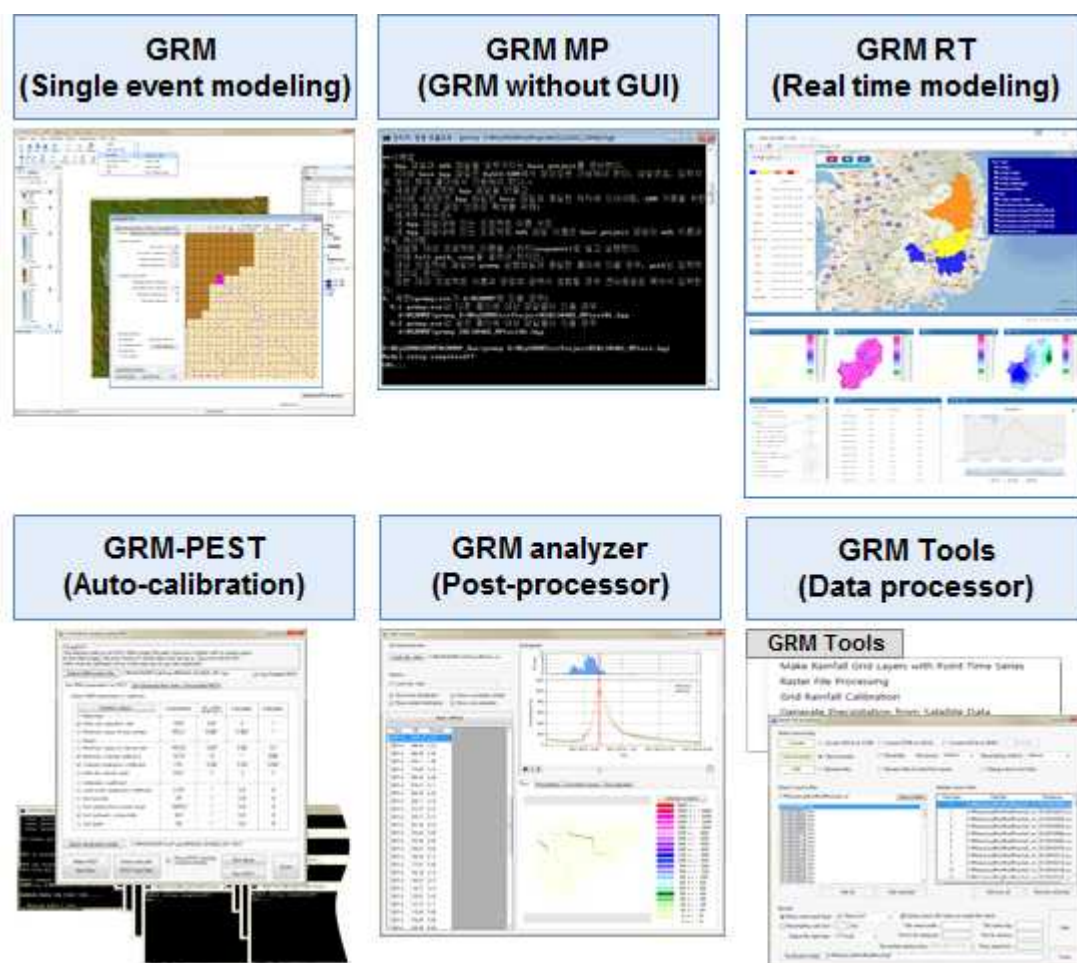


그림 5.1 GRM 모형의 사용자 기능별 모듈 구성

GRM-PEST는 PEST 모형(Doherty, 2010)을 이용해서 GRM 모형을 자동으로 보정하기 위한 모듈이다. GRM-PEST는 GRM 모형과 PEST(pest.exe, ppest.exe)를 연계 운영하기 위한 GUI를 포함하며, PEST 구동을 위한 입력자료를 자동으로 생성한다. GRM-PEST는 MW-GRM에서 메뉴로 제공된다. GRM analyzer는 GRM 모형의 실행 중에 생성되는 모의결과 혹은 과거에 모델링된 GRM의 모의 결과를 관측 유량과 함께 표, 그래프, 그림으로 가시화한다. GRM analyzer는 GRM 모형의 실행중에 유역내 전체 격자에서의 유량, 포화도, 강우의 분포를 그림파일(.bmp)과 래스터 레이어(ESRI ASCII)로 생성한다. MW-GRM의 실행 GUI에서 GRM analyzer를 활성화 할 수 있는 옵션을 제공한다.

GRM 모형은 다수의 래스터 파일을 이용해서 유출해석을 수행한다. 그러므로 모형의 입력자료 생성 및 계산결과의 처리를 위해서 다수의 파일을 수정, 편집하고 시계열 레이어로부터 다양한 수문학적 인자를 추출할 수 있어야 한다. GRM Tools에서는 이와 같이 다수의 파일에 대해 일괄적으로 수정, 편집, 정보추출 등과 같은 전후처리를 할 수 있는 도구를 포함하고 있다. GRM Tools는 MW-GRM에서 메뉴로 제공된다.

6. MW-GRM

6.1 MW-GRM 사용절차

MW-GRM은 GRM 모델을 오픈소스 GIS인 MapWindow에서 실행하기 위한 Plug-in이다. MapWindow 실행 후 플러그인을 활성화 시키고, GRM Plug-in에서 제공하는 메뉴를 순차적으로 실행하면 된다.

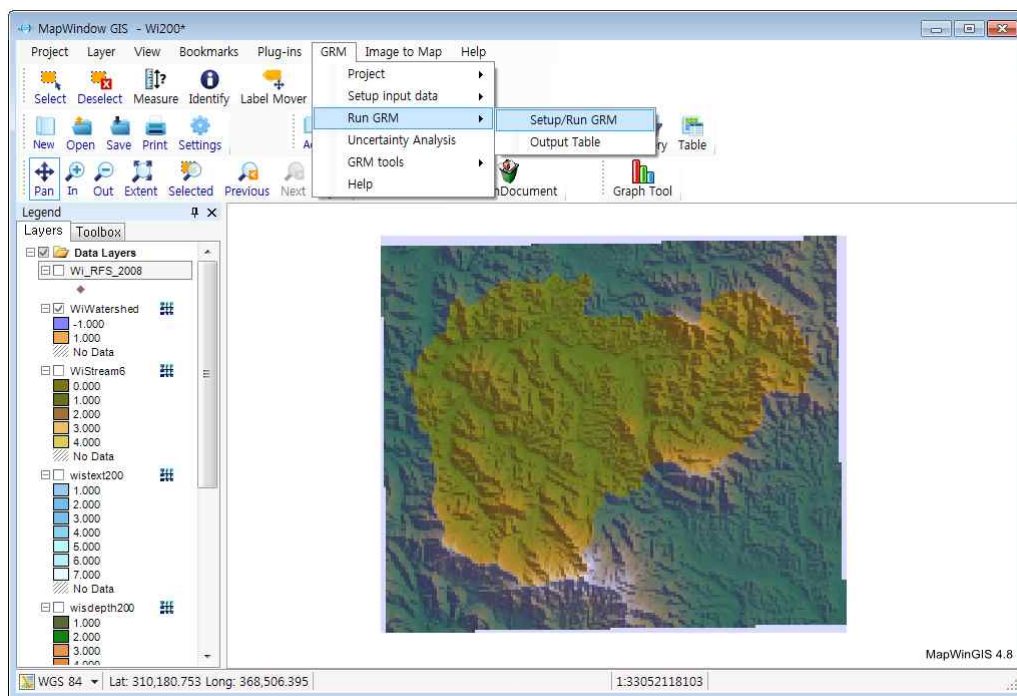


그림 6.2 MapWindow GIS(v4.8.8)와 MW-GRM 메뉴

표 6.1 MW-GRM 메뉴 및 주요 기능

메뉴		주요기능
Project		프로젝트 생성(.gmp), 저장, 정보조회
Setup input data	Watershed	대상 지역의 지형자료 레이어 설정
	Land cover/Soil	토지피복/토양 레이어 및 매개변수 설정
	Rainfall	강우자료 설정
Run GRM	Setup/Run GRM	매개변수, 환경변수 설정 및 유출해석 시작 GRM analyzer 활성화
	Output Table	모의결과 표 조회
Uncertainty Analysis		PEST를 이용한 자동 보정
GRM tools		입력자료, 계산 결과 전후처리 도구

GRM은 프로젝트 단위로 실행된다. GRM 모형을 구동하기 위한 입력자료가 준비되면, 사용자는 새 프로젝트를 생성하고, 순차적으로 메뉴를 실행하면서 모형을 구동한다. 이때 새 프로젝트가 생성되면, 프로젝트 파일(.gmp)과 프로젝트 데이터베이스(.mdb)가 생성되며, 모형의 구동 과정에서 설정된 모든 정보가 저장된다. 모형의 구동 과정에서는 MapWindow에서 로드되어 있는 입력자료 래스터 레이어를 선택함으로써 지형자료를 설정하고, 하드디스크에 저장되어 있는 강우 래스터 레이어를 선택한다. 입력자료가 설정된 후에는 사용자의 모형 매개변수 설정과정을 거친 후 유출모의를 수행한다. 모의결과는 사용자의 지정된 지점에 대한 유량, 강우 등을 출력하고 있으며, 프로젝트 데이터베이스와 텍스트 파일로 저장된다. 모의결과는 실측된 수문자료와 함께 표와 그래프로 조회할 수 있다.

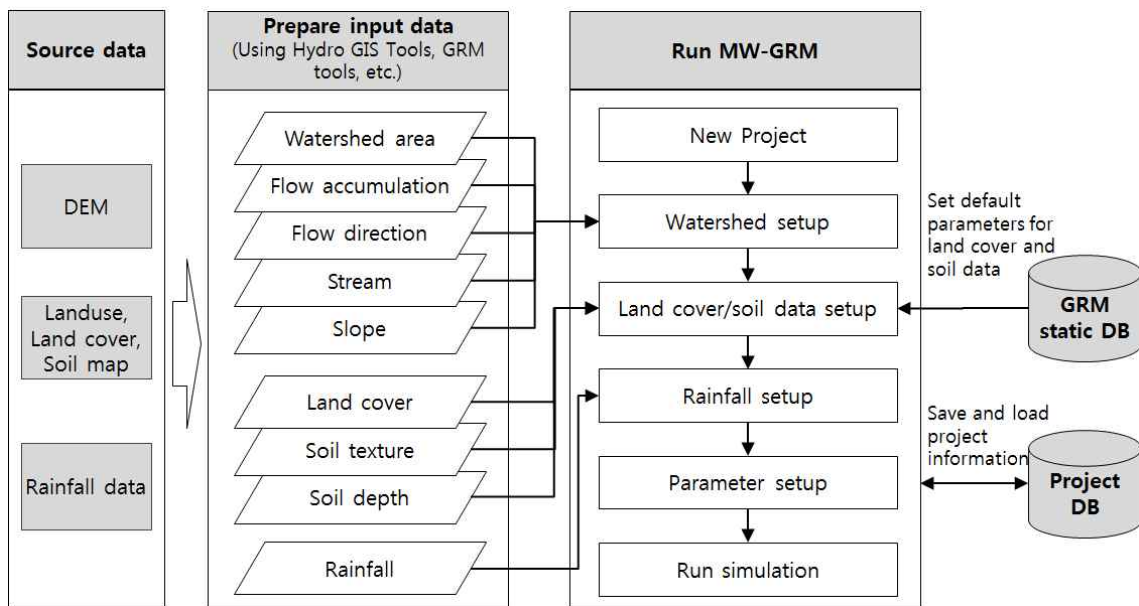


그림 6.3 MW-GRM의 사용 절차

6.2 MW-GRM 메뉴

6.2.1 Project > New Project

GRM 구동을 위한 새 프로젝트를 생성한다. GRM 프로젝트 파일인 .gmp와 프로젝트 db인 .mdb 파일이 만들어 진다.

1. [Project | New Project] 실행

6.2.2. Project > Open Project

기존에 저장되어 있는 GRM 프로젝트 파일(.gmp)을 열고, 프로젝트를 설정한다.

1. [Project | Open Project] 실행

6.2.3 Project > Save Project

현재 진행 중인 프로젝트를 저장한다.

1. [Project | Save Project] 실행

6.2.4 Project > Save As Project

현재 진행 중인 프로젝트를 다른 이름으로 저장한다.

1. [Project | Save As Project] 실행

6.2.5 Project > Project Info.

현재 프로젝트의 정보를 조회할 수 있고, 사용자 설명을 기록 및 수정할 수 있다.

1. [Project | Project Info.] 실행
2. Project information 테이블에서 사용자 입력 항목(About this project, About Watershed, About land cover map, About soil map, About soil depth map, About rainfall)의 셀을 더블클릭하면, 기록할 수 있는 창이 활성화 됨

6.2.6 Setup input data > Watershed

모의대상 유역에 대한 유역경계, 경사, 흐름방향, 흐름누적수, 하천망, 및 하폭 래스터 레이어를 설정한다.

1. [Setup input data | Watershed] 실행
2. [Watershed area]에서 유역 래스터 레이어 선택
3. [Watershed slope]에서 최급경사(steepest rise-run) 방법에 의해 계산된 경사 레이어 선택
4. [Flow direction]에서 D8 방법에 의해서 계산된 단방향 흐름정보 레이어 선택
5. [Flow direction index type]에서 흐름방향 인덱스 종류(4.1 입력자료 부분 참고)를 선택
6. [Flow accumulation]에서 하천망 추출시 적용된 흐름누적수 레이어 선택
7. [Stream]에서 하천망 래스터 레이어 선택

※ 하도 흐름을 모의하지 않을 경우에는 [Stream] 및 [Channel width] 레이어 입력부분을 체크하지 않고, 각 레이어를 입력하지 않은 상태로 [OK] 명령 실행

8. [Channel width]에서 하폭 레이어 선택

※ 하폭은 [Stream]에 입력된 하천망 레이어의 모든 하천셀에서 설정되어 있어야 한다. 하폭 레이어를 입력하지 않을 경우, 모형설정 과정에서 하폭 설정을 위한 과정을 거치게 된다.

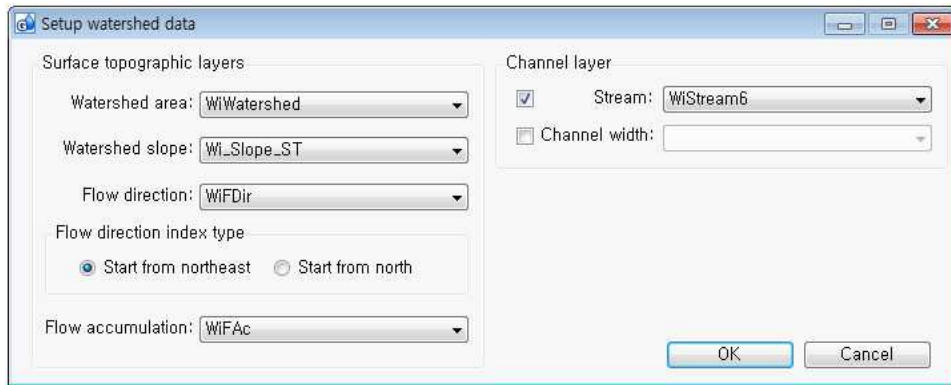


그림 6.4 Setup watershed data

6.2.7 Setup input data > Land cover/Soil

GRM 모형에서는 토지피복에 따른 조도계수, 불투수율과 침투모의를 위한 토양속성별 Green-Ampt 매개변수 및 토양심을 설정해야 한다. 이를 위해서 GRM에서는 토지피복 레이어, 토양 레이어, 토양심 레이어를 입력자료로 사용하고, 각 속성별 매개변수를 할당한다.

1. GRM에서 [Setup input data | Land cover/Soil] 실행
2. 토지피복 레이어 설정
 - "Use land cover layer" 옵션 선택
 - [Land cover] 레이어 선택
 - 입력된 레이어의 속성과 토지피복 속성의 대응을 위해서 .vat 파일 설정
3. 토양 레이어 설정
 - "Use soil texture layer" 옵션 선택
 - [Soil texture] 레이어 선택
 - 입력된 레이어의 속성과 토성 속성의 대응을 위해서 .vat 파일 설정
4. 토양심 레이어 설정
 - "Use soil depth layer" 옵션 선택
 - [Soil depth] 레이어 선택
 - 입력된 레이어의 속성과 토양심 속성의 대응을 위해서 .vat 파일 설정

※ 래스터 레이어의 값은 숫자로 입력되어 있으며, 이를 토지피복 및 토양의 속성으로 대응시키기 위해 VAT 파일을 사용한다. VAT 파일은 텍스트 에디터를 이용해서 만들 수 있다. VAT 파일의 포맷은 첫 줄에 속성의 개수를 기입하고, 두 번째 줄부터 그리드의 값(숫자)과 토지피복도, 토성, 토양심 속성(문자)을 콤마(,)로 구분해서 기입한다.

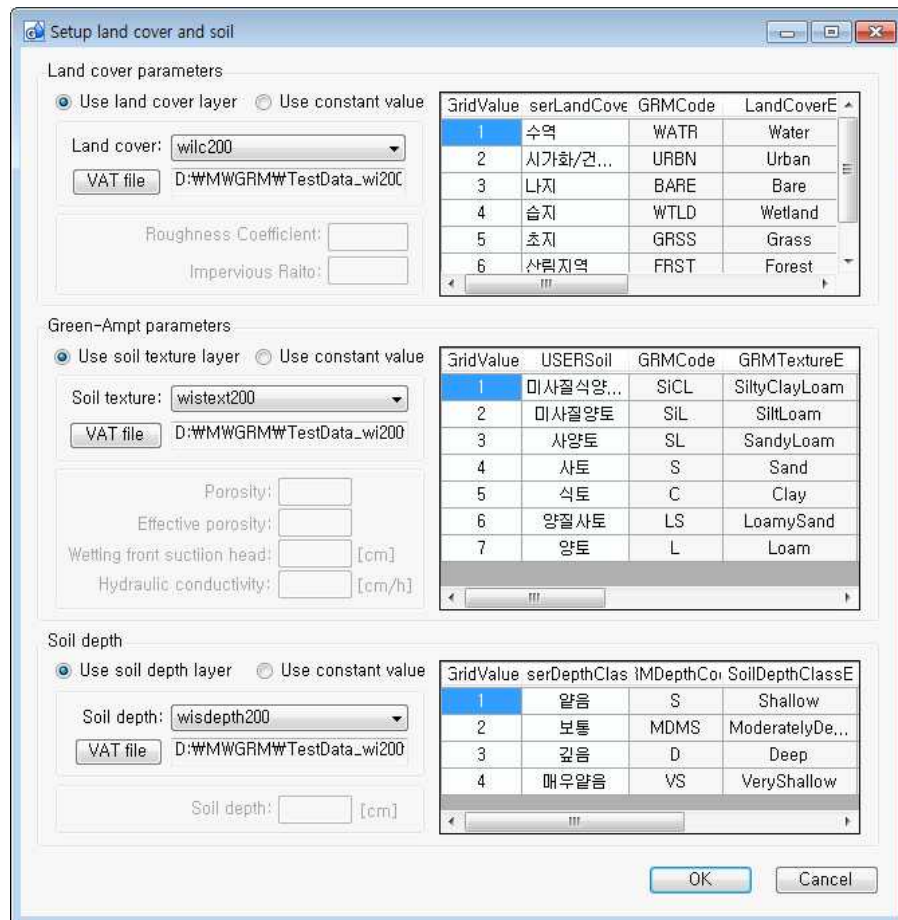


그림 6.5 Setup land cover and soil data

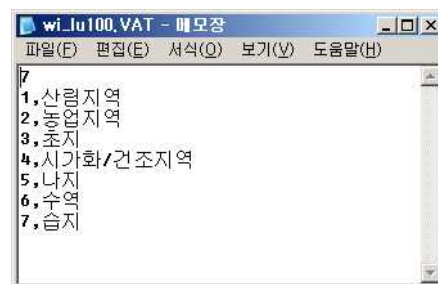


그림 6.6 토지피복 VAT 파일 예



그림 6.7 토성 VAT 파일 예

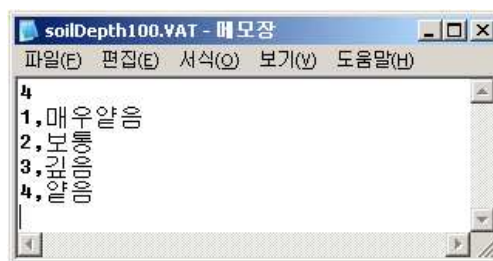
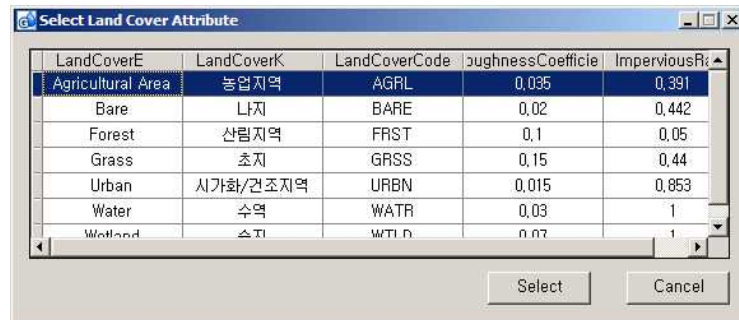


그림 6.8 토양심 VAT 파일 예

5. 각 레이어에서 데이터 값의 속성(매개변수)을 변경하고자 할 경우에는 속성 테이블에서 키보드로 수정을 할 수 있다. 또한 각 레이어의 속성별 매개변수를 다른 속성의 값으로 변경하거나, 기본값을 확인하고자 할 경우에는 속성 테이블의 행을 더블클릭하면 참조 테이블이 활성화 되고, 활성화된 참조 테이블에서 하나의 속성을 선택하거나, 매개변수 값을 확인할 수 있다.



LandCoverE	LandCoverK	LandCoverCode	ImperviousCoefficient	ImperviousRatio
Agricultural Area	농업지역	AGRL	0.035	0.391
Bare	나지	BARE	0.02	0.442
Forest	산림지역	FRST	0.1	0.05
Grass	초지	GRSS	0.15	0.44
Urban	시가지/건조지역	URBN	0.015	0.853
Water	수역	WATR	0.03	1
Wetland	습지	WTLN	0.07	1

그림 6.9 토지피복 속성 참조 테이블



SoilTextureE	SoilTextureK	SoilTextureCode	PorosityMin	PorosityMax
Clay	식토	C	0.427	0.522
ClayLoam	식양토	CL	0.409	0.518
Loam	양토	L	0.375	0.55
LoamySand	양질사토	LS	0.363	0.505
Sand	사토	S	0.374	0.5
SandyClay	사질식토	SC	0.37	0.489
SandyClayLoam	사질식양토	SCI	0.332	0.463

그림 6.10 Green-Ampt 매개변수 참조 테이블



GRMCode	SoilDepthClassE	SoilDepthClassK	SoilDepthMin	SoilDepthMax
VD	VeryDeep	매우깊음	150	1000
D	Deep	깊음	100	150
MDMS	ModeratelyDeep...	보통	50	100
S	Shallow	얕음	20	50
VS	VeryShallow	매우얕음	0	20

그림 6.11 토양심 참조 테이블

6. 구역 전체에 대해서 동일한 매개변수 값을 적용하고자 할 경우에는 "Use constant value" 옵션을 선택한다.

6.2.8 Setup input data > Rainfall

GRM은 격자 기반의 분포형 모형으로 격자 형태로 분포된 강우자료(래스터 파일)를 입력 자료로 이용한다. 래스터 파일은 GeoTiff와 ESRI ASCII 포맷을 이용한다. GRM 모형에서는 분포형 강우뿐만 아니라 구역평균 강우량도 적용할 수 있다. 이 경우 텍스트 파일로 저장된 평균 강우량 파일(.mrf, .txt)을 읽어서 강우자료로 입력한다. 래스터 레이어의 경우 입력된 강우값의 단위는 'Rainfall time step'에서 지정된 시간 동안의 강우량(mm)인 경우와 1시간 강우량(mm/h)인 경우를 선택할 수 있다. 강우량 자료를 설정하는 과정은 다음과 같다.

1. GRM에서 [Setup input data | Rainfall] 실행
2. 분포형 강우 래스터 파일을 이용할 경우에는 tif 혹은 asc 파일 중 하나를 선택할 수 있고, 자료 값의 단위가 mm인지 혹은 mm/hr 인지를 확인하여 옵션 선택
구역의 평균 강우량 시계열 자료를 이용할 경우에는 "Use mean areal rainfall text file)" 옵션 선택
3. [Rainfall time step]에 강우자료의 시간 간격 입력
4. 강우 기간 입력
※ 강우 기간이 설정된 경우에는 유출해석 결과 파일에서의 시점이 강우의 시점으로 설정됨
※ 강우기간이 설정되지 않은 경우에는 0에서 시작하여 강우의 시간간격으로 시간 단위 표시됨
5. 분포형 강우 래스터 파일을 이용할 경우에는 강우 파일이 있는 폴더를 선택 한 다음 [Apply new folder] 명령을 수행하여 선택된 폴더에 있는 모든 강우 그리드 파일을 추가
평균 강우량 텍스트 파일을 적용할 경우에는 [Add file] 버튼 클릭

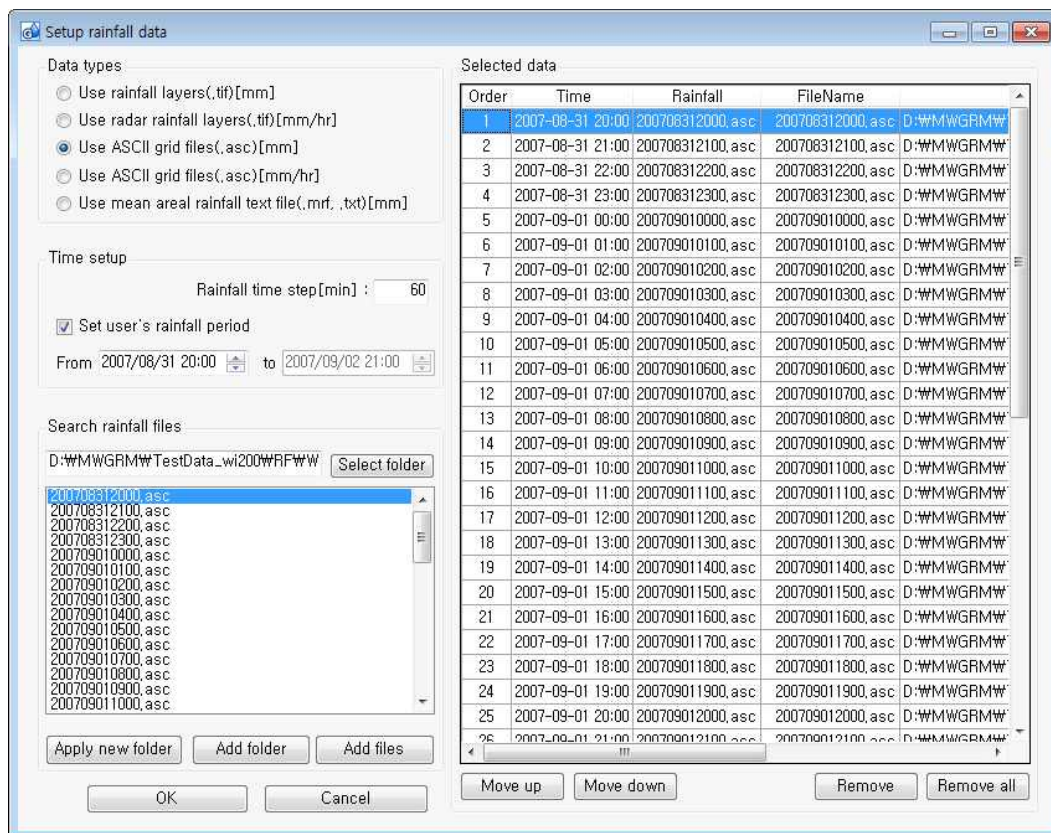


그림 6.12 Setup rainfall data

※ 평균강우량 시계열 텍스트 파일은 텍스트 에디터를 이용하여 생성할 수 있으며, 한 행에 하나의 강우 값을 입력



그림 6.13 평균강우량 입력파일 샘플

6.2.9 Run GRM > Setup/Run GRM

입력자료 설정이 완료된 후에는 모의환경과 사용자에게 의해서 추정되는 매개변수를 설정한다. 이 메뉴에서는 모의기간 설정, 계산시간 간격 설정, 하도 지형정보 입력, 모의결과 출력에 위한 Watch point 선택, Flow control 정보 입력, 매개변수 보정, 검사체적 정보 조회 및 수정 등의 기능과 함께 지도를 제어할 수 있는 기능을 포함하고 있다.

지도창은 유역 레이어를 이용해서 모의 대상 영역의 지도를 표시한다. 흐름방향과 격자 구분선을 표시하며, 지표면 흐름에서는 초록색, 하도 흐름에서는 파란색으로 흐름방향을 나타낸다. 또한 지도창에서 마우스로 선택된 격자를 모의결과 출력 대상인 Watch point로 설정할 수 있으며, 흐름제어 정보를 설정할 수 있는 Flow control 격자를 추가할 수 있다.

지도 제어 도구는 지도창에서 표시된 유역 레이어를 제어함으로써 검사체적으로 설정되는 각 격자의 정보를 세부적으로 확인할 수 있게 한다. 지도의 확대, 축소, 이동, 특정 위치 찾기, 흐름방향 및 격자 구분선 표시 선택, 격자의 위치 및 검사체적 번호 검색 등과 같은 지도제어 기능을 제공한다.

모형설정 도구에서는 유출모의를 위한 사용자 지정 환경변수와 모형의 초기조건, 하도 매개변수, 흐름제어 조건, 매개변수 보정, 모의 옵션 등에 대한 매개변수를 설정하고, 유출모의를 위한 검사체적의 정보를 업데이트 한다. GRM 모형을 이용한 유출해석을 시작한다. GRM analyzer를 활성화 한 경우에는 모의결과를 실시간으로 표, 그래프, 그림으로 확인할 수 있다.

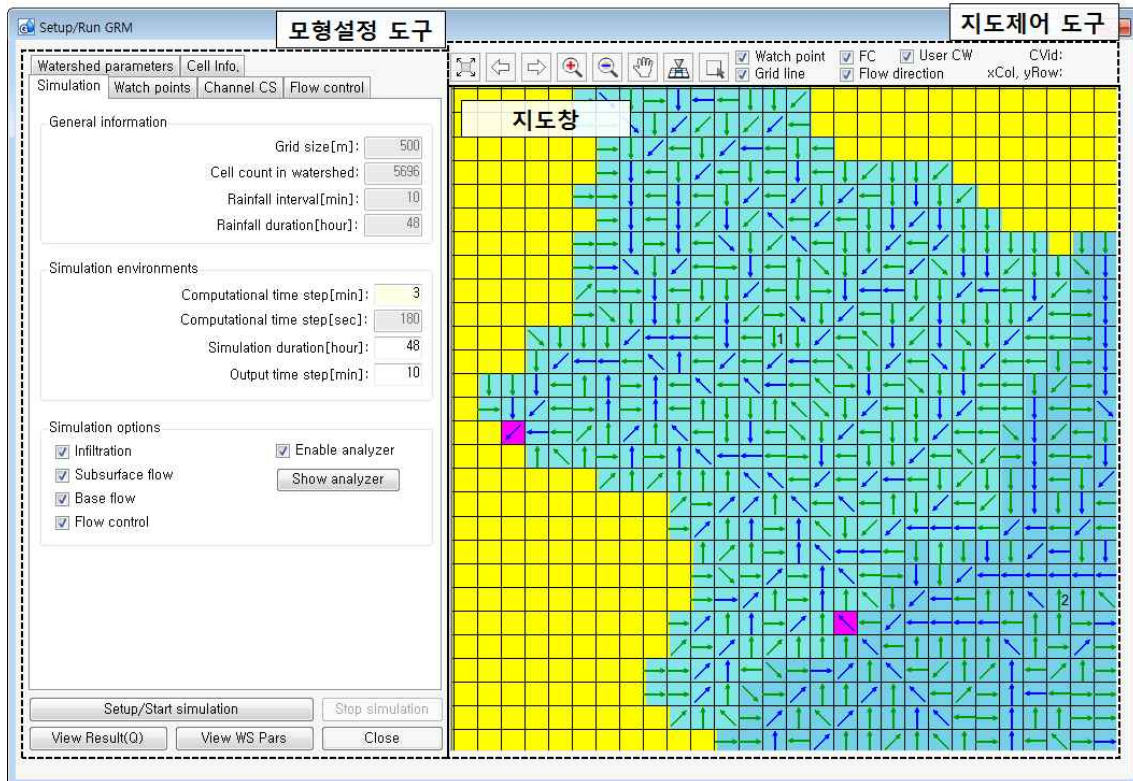


그림 6.14 Setup/Run GRM GUI

표 3.2 Setup/Run GRM GUI 기능(최윤석 등, 2009b)

구분	내용
Simulation	계산 시간 간격, 모의기간, 출력 시간 간격, 모의 옵션 설정 GRM analyzer 실행
Watch points	유출모의 결과를 출력할 watch point 셀 선택, watch point 정보 설정
Channel CS	하폭 설정, 하폭편집, 하도 형태 설정
Flow control	저수지 혹은 댐에 의한 흐름 조절, inlet에 의한 유역 분할 모의, sink 혹은 source flow에 의한 유량의 추가 혹은 배제, 저수지 운영 등의 Flow control 셀 선택 및 정보 설정
Watershed parameters	사용자 지정 매개변수 설정, 초기유량 입력, 다지점 보정
Cell info.	선택된 격자에 대한 모형 매개변수 조회
Setup/Start simulation	설정된 매개변수를 검사체적 정보로 업데이트하고, 유출모의 시작
View Result(Q)	유량 계산결과 텍스트 파일 열기
View WS Pars	현재 설정된 소유역별 매개변수 정보 조회

① **Simulation tab**

1. [Run GRM | Setup/Run GRM]을 실행하고 [Simulation] 탭 선택
2. [Computational time step] 설정. Default 값을 수정할 수 있음

- ※ 격자의 개수와 계산 시간간격은 모형의 수행시간에 직접적인 영향을 미치며, 또한 모형의 안정성과 모의결과의 신뢰성에 영향을 미친다. 적절하지 못한 계산 시간간격은 수치해의 수렴이 불안정해 질 수 있으며, 해의 신뢰성이 낮아질 수 있다. 또한 계산 시간간격이 너무 작을 경우 모형 수행에 소요되는 시간이 필요이상으로 늘어나게 된다.
- ※ 출력 시간간격을 계산 시간간격으로 나누었을 때 나머지가 0인 값을 입력하는 것이 바람직하다. 출력 시간간격이 계산 시간간격의 배수가 아닐 경우에는 출력 시점 전후에 있는 계산결과를 선형보간하여 해당 시간에서의 계산결과로 출력한다.
- 3. [Simulation duration]에 모델링 기간 입력
- 4. [Output time step]에 모의결과의 출력 시간간격 입력
- ※ 실측 유출량 자료를 이용해서 모의결과를 검증할 경우 실측 유출량 자료와 동일한 시간간격을 설정한다.
- 5. 침투과정을 모의할 경우 [infiltration] 옵션 선택
- 6. 지표하 유출을 모의할 경우 [Subsurface flow] 옵션 선택
- 7. 기저유출을 모의할 경우 [Base flow] 옵션 선택
- 8. 인위적인 흐름의 조절을 모의할 경우 [Flow control] 옵션 선택
- 9. GRM analyzer를 실행할 경우 [Enable analyzer] 옵션을 선택하고, [Show analyzer] 버튼 클릭

Watershed parameters | Cell Info

Simulation | Watch points | Channel CS | Flow control

General information

Grid size[m]: 500

Cell count in watershed: 5696

Rainfall interval[min]: 10

Rainfall duration[hour]: 48

Simulation environments

Computational time step[min]: 3

Computational time step[sec]: 180

Simulation duration[hour]: 48

Output time step[min]: 10

Simulation options

☒ Infiltration ☒ Enable analyzer

☒ Subsurface flow

☒ Base flow

☒ Flow control

그림 6.15 Simulation tab

② Watch points tab

GRM 모형은 유역내 모든 격자에 대하여 수문성분 해석결과를 출력할 수 있다. 사용자는 주요 모의지점을 Watch point로 지정할 수 있으며, Watch point로 지정된 격자에 대한 모의결과는 텍스트 파일과 mdb 테이블로 저장된다. 사용자에게 의해서 Watch point가 지정되지 않을 경우 GRM에서는 최하류 격자를 자동으로 Watch point로 설정한다.


1. [Run GRM | Setup/Run GRM]을 실행하고 [Watch points] 탭 선택
2. 지도창을 확대 혹은 이동하면서 Select grid 버튼()을 이용하여 Watch point로 지정할 격자를 선택하고, 마우스 우클릭을 하여 Watch point 추가
3. Watch point를 목록에서 삭제하고자 할 경우에는 [Remove] 버튼 클릭
4. 최하류 격자를 추가하고자 할 경우에는 [Add most downstream] 버튼 클릭
5. 순서는 flow accumulation이 큰 격자일수록 위쪽에 있고, 같은 flow accumulation에서 순서를 변경하고자 할 경우에는 [Move up] 혹은 [Move down] 버튼 이용
6. Watch point의 위치를 지도상에서 확인하고자 할 경우에는 Watch point 목록에서 대상을 선택하고, [Go to grid] 버튼 클릭
7. Watch point의 이름을 수정하고자 할 경우에는 Watch point 목록에서 대상을 선택하고, [Edit] 버튼 클릭
8. 지도상에 표시되는 watch point 격자의 색을 변경하고자 할 경우에는 [Edit] 버튼 좌측에 있는 색깔 박스 클릭



그림 6.16 Watch point 추가

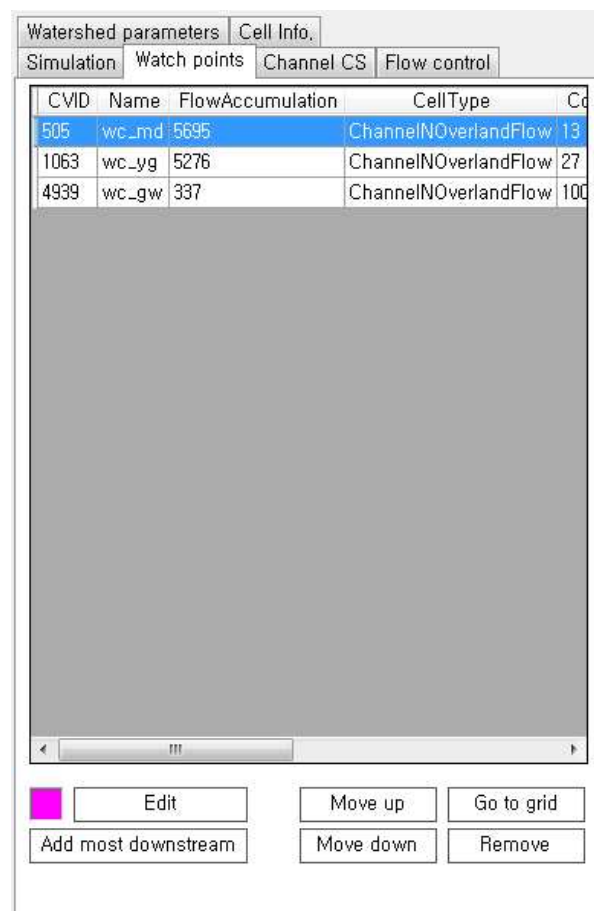

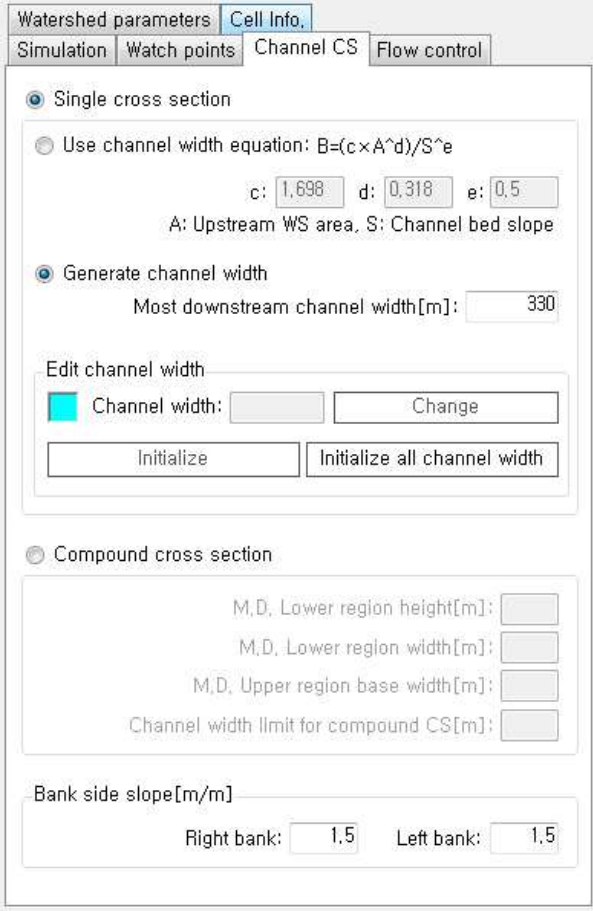


그림 6.17 Watch points tab

③ Channel CS tab

1. [Run GRM | Setup/Run GRM]을 실행하고 [Channel CS] 탭 선택
2. 단단면 하도로 모의할 경우 [Single cross section] 옵션 선택
 - a. 계획하폭 공식을 이용할 경우 [Use channel width equation]을 선택하고 계수 입력
 - b. 최하류 지점의 실측 하폭과 흐름누적수를 이용하여 하폭을 계산할 경우 [Generate channel width] 옵션을 선택하고, 최하류 지점의 최대 하폭 입력
 - c. 임의 격자의 하폭을 직접 입력할 경우에는 지도제어 도구에서 Select grid 버튼()을 클릭 후 지도창에서 대상 격자를 선택하고 [Edit channel width]에 하폭 입력
 - d. 사용자에 의해서 하폭이 입력된 격자는 지도상에 색으로 표시되며, 그 색을 변경하고자 할 때는 [Edit channel width]에 있는 칼라 박스 클릭
 - e. 사용자에 의해서 하폭이 입력된 격자 중 하나를 자동 계산된 값으로 초기화 할 경우에는 대상 격자를 선택 후 [Initialize] 버튼 클릭
 - f. 사용자에 의해서 입력된 모든 하폭을 자동 계산된 값으로 초기화 할 경우에는 [Initialize all channel width] 버튼 클릭
3. 복단면 하도로 모의할 경우 [Compound cross section] 옵션 선택
 - a. 최하류 격자에서의 저수부와 고수부의 하폭과 깊이 입력
 - c. 복단면으로 모의할 하폭의 제한 값 설정
4. [Bank side slope]에 제방 경사 입력



Watershed parameters | **Cell Info.** | Simulation | Watch points | Channel CS | Flow control

☒ Single cross section


☐ Use channel width equation: $B=(c \times A^d)/S^e$

c: 1.698 d: 0.318 e: 0.5
A: Upstream WS area, S: Channel bed slope

☒ Generate channel width

Most downstream channel width[m]: 330

Edit channel width

 Channel width:

☐ Compound cross section

M,D, Lower region height[m]:

M,D, Lower region width[m]:

M,D, Upper region base width[m]:

Channel width limit for compound CS[m]:


Bank side slope[m/m]

Right bank: 1.5 Left bank: 1.5

그림 6.18 Channel CS tab

④ Flow control tab

유역내 임의 격자에서 인위적인 흐름 조절을 모의하기 위해 Flow control 정보 설정

1. [Run GRM | Setup/Run GRM]을 실행하고 [Flow control] 탭 선택
2. 지도창을 확대 혹은 이동하면서 Select grid 버튼()을 이용하여 Flow control 정보를 입력할 격자를 선택하고, 마우스 우클릭하여 대상 격자 추가
 - a. Flow control 격자 이름 입력
 - b. Flow control의 종류를 입력한다. "Reservoir outflow", "Inlet", "Reservoir operation", "Sink flow", "Source flow" 중 하나를 선택
 - c. "Reservoir operation" 이외의 항목을 선택한 경우에는 Flow control 시계열 자료의 시간 간격 입력
 - d. "Reservoir operation"을 선택할 경우 저수지 제원과 댐 운영 방법 입력
 - 저수지의 초기 저류량, 최대 저류량, 최대 가능 저류율 입력
 - 저수지 운영 방법 선택

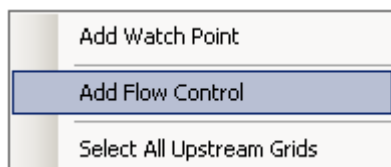


그림 6.19 Flow control 격자 추가

그림 6.20 Flow control 격자 정보 입력

3. Flow control type에서 "Reservoir operation"을 선택한 경우는 [Flow control data]에서 시계열 자료 설정하지 않음
4. Flow control type에서 "Reservoir operation" 이외의 항목을 선택한 경우에는 Flow control 시계열 자료 설정 필요
 - a. 화면에서 직접 입력할 경우 [User edit] 옵션을 선택하고 데이터 그리드 입력

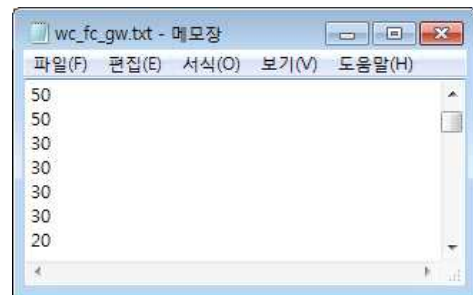
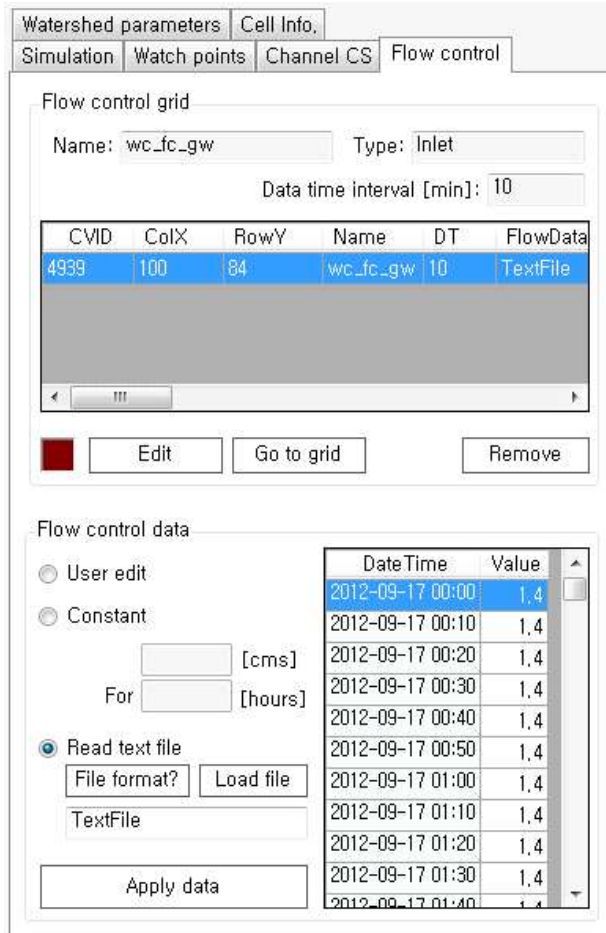


그림 6.22 Flow control 자료 텍스트 파일

그림 6.21 Flow control tab

- b. 일정 시간동안 동일한 크기의 시계열 자료를 적용하고자 할 경우에는 [Constant] 옵션을 선택하고, 유량과 기간 입력
- c. 텍스트 파일로 저장된 자료를 적용할 경우 [Read text file] 옵션을 선택하고 텍스트 파일 불러오기
 - ※ Flow control 시계열 자료 텍스트 파일은 텍스트 에디터를 이용하여 생성할 수 있으며, 한 행에 하나의 유량을 입력
5. Flow control 격자를 "Flow control grid" 목록에서 삭제할 때는 대상 격자를 리스트에서 선택하고 [Remove] 버튼 클릭
6. Flow control 격자의 위치를 지도상에서 확인할 경우에는 대상 격자를 "Flow control grid" 목록에서 선택하고, [Go to grid] 버튼 클릭
7. Flow control 격자의 속성을 수정할 때는 대상 격자를 "Flow control grid" 목록에서 선택하고, [Edit] 버튼 클릭
8. Flow control 격자는 지도상에서 색으로 구분되며, 색상을 변경할 때는 [Edit] 버튼 좌측의 칼라박스 클릭

⑤ Watershed parameters tab

모의 대상 유역에 대한 사용자 매개변수를 입력 및 수정한다. 소유역별로 각기 다른 매개변수를 설정할 경우에는 단일 유역 다지점 보정 기법이 적용된다. 매개변수 보정계수는 토양과 토지피복에 대한 매개변수를 일정한 비율로 증감시키기 위해서 사용된다.


1. [Run GRM | Setup/Run GRM]을 실행하고 [Watershed parameters] 탭 선택
2. [Select WS]에서 매개변수를 설정할 유역 번호 선택
 - 최하류 유역에 대해서 매개변수를 입력한다.
 - 최하류 유역의 매개변수 입력 후, 다지점 보정을 위해서는 상류 소유역의 번호를 선택하고 대상 소유역에 대한 매개변수를 입력한다.
 - ※ 선택된 유역의 상류에 있는 소유역은 [UpWS], 하류에 있는 소유역은 [DownWS]에 목록으로 보여진다. [DownWS]에 아무런 항목이 없으면 현재 선택된 유역 번호가 최하류 유역이다.
 - ※ 사용자에게 의해서 매개변수가 입력된 소유역 번호는 [UserSetWS]에 목록으로 나타난다. 최하류에 있는 소유역은 항상 매개변수가 설정되므로 [UserSetWS]에 목록으로 나타난다.
3. [Initial soil saturation ratio]에 토양 초기포화도 입력
 - ※ 초기포화도는 overland flow를 모의하는 검사체적에 대해서만 적용된다. Channel flow를 모의하는 검사체적의 포화도는 1이다. 하나의 격자에서 overland flow와 channel flow를 함께 모의할 경우(하폭이 격자 크기보다 작은 경우)에는 두 개의 검사체적으로 계산한다.
4. [Minimum slope of land surface]에 overland flow 계산에 사용되는 최소경사 조건 입력
 - ※ MW-GRM은 0.0001을 기본 값으로 제안하고 있으며, 대상 유역의 지표면 특성 및 모의 결과에 따라서 매개변수를 추정한다.
5. [Minimum slope of channel bed]에 channel flow 계산에 사용되는 최소경사 조건 입력
 - ※ MW-GRM은 0.0005를 기본 값으로 제안하고 있으며, 대상 유역의 하천 특성 및 모의 결과에 따라서 매개변수를 추정한다.
6. 유출계산 기간의 시점에 대상 유역 유출구에서의 초기유량이 있을 경우, [Apply initial stream flow]에 입력
7. [Channel roughness coefficient]에 하도 조도계수 입력
 - ※ 하도 조도계수는 0.035 ~ 0.055의 사용을 권장하고 있으며, 기본 값은 0.045로 설정되어 있다. 하천의 특성 및 모의결과에 따라서 추정한다.
8. [Initial dry stream order]에 유출계산 기간의 시점에서 건천으로 모의할 하천차수 입력
 - ※ 조밀한 하천망을 사용하는 경우 우기가 시작되기 전인 봄에 발생하는 강우 중 선행강우량이 작은 사상에 대해서 이 매개변수를 입력할 수 있으며, 기본 값은 0으로 설정되어 있다.
9. [Land cover roughness coefficient], [Soil depth], [Soil porosity], [Soil wetting front suction head], [Soil hydraulic conductivity]에 대한 매개변수 보정계수 입력
 - ※ 매개변수 보정계수는 각 격자별 매개변수에 곱해지는 값으로, 1을 입력할 경우에는 각 격자에 할당된 매개변수 값이 그대로 유출해석에 적용된다.
10. 입력한 매개변수를 현재 선택된 유역에 대해서 적용하기 위해 [Apply current WS] 버튼 클릭
11. 다지점 보정시 임의 소유역에 설정된 매개변수를 삭제하고, 해당 소유역의 하류 유역에서

설정된 매개변수로 모의하고자 할 경우에는 매개변수 삭제 대상 소유역을 [Select WS]에서 선택하고 [Remove WS parameters] 버튼 클릭

그림 3.23 Watershed parameters tab

⑥ Cell info. tab

유역 내 임의 격자의 위치, 흐름정보, 토양 및 토지피복 매개변수 등의 격자 정보를 조회한다.

1. [Run GRM | Setup/Run GRM]을 실행하고 [Cell info.] 탭 선택
2. 지도창 상단에 있는 확대, 축소, 이동 버튼을 이용해서 조회하고자 하는 격자로 이동
3. Select grid 버튼()을 이용하여 격자를 선택하고 cell info. tab에서의 속성 항목과 지도창 우상단에서 격자 위치 확인
 - ※ 격자 매개변수가 업데이트 되어 있지 않은 경우에는 [Setup/Run GRM] GUI 좌하단에 있는 [Setup/Start simulation] 버튼을 클릭하고, 팝업 메시지 창에서 [No]를 클릭한다. 이렇게 하면 검사체적 매개변수만 업데이트 되고, simulation 시작하지 않게 되므로 가장 최근에 설정된 매개변수를 조회할 수 있다.

Simulation	Watch points	Channel CS	Flow control
Watershed parameters			
Cell Info.			
Flow			
Simulate:	True	Flow direction:	SW(16)
Cell type:	ChannelNOve	Flow accumulation:	5686
F.C. type:	5	Ch. base width :	329.48
Stream order:	5	Land surface slope:	0.00010
		Channel bed slope:	0.00705
Soil			
Grid value:	5	Soil texture:	ClayLoam
		Porosity:	0.46
		Effective porosity:	0.31
		Wetting front suction head[cm]:	20.88
		Hydraulic conductivity[cm/h]:	0.12
		Soil depth[cm]:	25.00
Land cover			
Grid value:	700	Type:	Water
		Roughness coefficient:	0.0300
		Impervious ratio:	1.000

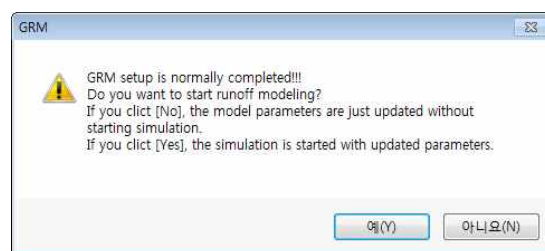


그림 325 매개변수 업데이트 메시지 창([No] 클릭)

그림 3.24 Cell info. tab

⑦ Setup/Start simulation command button

1. GRM 구동을 위한 매개변수와 환경 설정이 모두 완료되면 [Setup/Start simulation] 버튼을 클릭하여 유출모의를 시작하기 전단계로 구동 환경을 검토한다.
2. 매개변수 설정이 정상적으로 완료되었다는 메시지가 나타나면 예(Y) 버튼을 클릭하여 유출 모의를 시작한다.

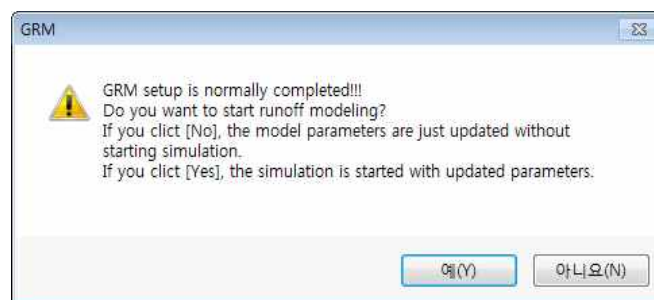


그림 3.26 Simulation 시작 메시지 창([Yes] 클릭)

※ 유출모의가 시작되면 진행상황이 화면 하단에 표시된다.

3. 유출모의를 중단하고자 할 경우에는 [Stop simulation] 버튼 클릭

⑧ View Result(Q) command button

1. 유출해석 결과 중 유량 모의결과 텍스트 파일(.out)을 연다.

※ 모든 watch point에서의 모의결과를 나타낸다. 텍스트 파일의 내용은 tab으로 구분되어

있다. 유량이외의 모의결과는 프로젝트 파일이 있는 폴더에 '.out' 확장자를 가지고 생성된다. 유출해석 결과는 프로젝트 mdb 파일의 테이블로도 저장된다.

Date_Time	[wc_md]	[wc_yg]	[wc_gw]	Rainfall_Mean	ThisStep[msec]	FromStarting[sec]
2012-09-17 00:00	115.5792	106.8004	1.4	1.00	220	0
2012-09-17 00:10	116.1751	107.443	1.4	0.78	100	0
2012-09-17 00:20	116.7401	108.0003	1.4	0.61	108	0
2012-09-17 00:30	117.3016	108.5127	1.4	0.45	140	0
2012-09-17 00:40	117.8221	109.0079	1.4	0.24	109	0
2012-09-17 00:50	118.2331	109.588	1.4	0.41	109	0
2012-09-17 01:00	118.8665	110.5432	1.4	0.92	140	0
2012-09-17 01:10	119.553	111.4466	1.4	0.33	109	1
2012-09-17 01:20	120.0148	112.2101	1.4	0.15	109	1
2012-09-17 01:30	120.5252	112.982	1.4	0.13	140	1
2012-09-17 01:40	121.0465	113.888	1.4	0.16	109	1
2012-09-17 01:50	121.636	115.3584	1.4	0.25	109	1
2012-09-17 02:00	122.1219	116.5767	1.4	1.10	162	1
2012-09-17 02:10	122.8952	118.0294	1.4	0.68	109	1
2012-09-17 02:20	123.8222	119.6014	1.4	0.34	121	1

그림 3.27 유량 모의결과 파일

⑨ View WS Pars command button

1. 현재 설정되어 있는 유역(소유역) 매개변수를 테이블 형식으로 조회한다.
 ※ 다지점 보정이 적용되지 않은 경우에는 모든 소유역이 같은 매개변수군을 가진다.
 다지점 보정이 적용된 경우에는 소유역별로 적용된 매개변수군을 표시한다.

ID	InISaturation	MinSlopeOF	MinSlopeChBed	MinChBaseWidth	ChRoughness	
1	0.7	0.0001	0.0005	50	0.045	0
2	0.7	0.0001	0.0005	50	0.045	0
3	0.7	0.0001	0.0005	50	0.045	0
4	0.7	0.0001	0.0005	50	0.045	0
5	0.7	0.0001	0.0005	50	0.045	0
6	0.7	0.0001	0.0005	50	0.045	0
7	0.7	0.0001	0.0005	50	0.045	0

그림 3.28 유역(소유역) 매개변수 조회

6.2.10 Run GRM > Output table

1. 모든 watch point에서의 유량과 수심 계산결과를 테이블로 조회한다. 각 계산결과를 이용한 간단한 통계값을 제시한다.
2. 모의결과 파일을 텍스트 파일로 조회할 경우 [View text file] 명령을 수행하거나, 텍스트 편집기를 이용하여 프로젝트 폴더에 있는 파일을 연다.

Output table

Open MDB: D:\NakdongWsb\WC\wc.mdb View text file(Q) View text file(H) Close

Discharge Depth Observed data

DataNo	Date_Time	wc_md	wc_yg	wc_gw	Rainfall_Mean	ThisStep_sec	FromStarting_sec
1	2012-09-17 00:00	115,5792	106,8004	1,4	1	220	0
2	2012-09-17 00:10	116,1751	107,443	1,4	0,78	100	0
3	2012-09-17 00:20	116,7401	108,0003	1,4	0,61	108	0
4	2012-09-17 00:30	117,3016	108,5127	1,4	0,45	140	0
5	2012-09-17 00:40	117,8221	109,0079	1,4	0,24	109	0
6	2012-09-17 00:50	118,2331	109,588	1,4	0,41	109	0
7	2012-09-17 01:00	118,8665	110,5432	1,4	0,92	140	0
8	2012-09-17 01:10	119,553	111,4466	1,4	0,33	109	1
9	2012-09-17 01:20	120,0148	112,2101	1,4	0,15	109	1
10	2012-09-17 01:30	120,5252	112,982	1,4	0,13	140	1
11	2012-09-17 01:40	121,0465	113,888	1,4	0,16	109	1
12	2012-09-17 01:50	121,636	115,3584	1,4	0,25	109	1
13	2012-09-17 02:00	122,1219	116,5767	1,4	1,1	162	1
14	2012-09-17 02:10	122,8952	118,0294	1,4	0,68	109	1

Discharge summary Depth summary

CVID	WATCHPOINT	WPNAME	TS_TYPE	UNIT	TS_SOURCE	TIME_START	TIME_END	TS_COUNT	MISSING_COUNT	TS_
1063	27.33	wc_yg	Discharge	CMS	Simulated	2012-09-17 00:00	2012-09-19 00:00	289	0	1952
4939	100.84	wc_gw	Discharge	CMS	Simulated	2012-09-17 00:00	2012-09-19 00:00	289	0	404.8
505	13.25	wc_md	Discharge	CMS	Simulated	2012-09-17 00:00	2012-09-19 00:00	289	0	2180

그림 3.29 모의결과 table 조회

7. GRM-PEST

GRM-PEST는 범용 매개변수 추정 모형인 PEST(Doherty, 2010)와 GRM을 자동으로 연동하여 모형을 보정할 수 있는 모듈이다. GRM-PEST는 GRM 모형에 대한 PEST 입력파일을 자동으로 생성할 수 있는 GUI를 제공한다. PEST 입출력 파일 및 이론적 상세 사항은 PEST 모형의 매뉴얼(Doherty, 2010)을 참조할 수 있다. GRM-PEST를 이용하기 위해서는 MW-GRM에서 정상적으로 생성된 GRM 프로젝트 파일(gmp, mdb)과 입력자료들이 필요하다. PEST 모형의 실행을 위한 exe 파일(pest.exe, ppest.exe, pslave.exe 등)은 GRM plug in 실행파일(GRM.dll)이 있는 폴더의 하위 폴더 중 'PEST'에 배치되어 있다(예를 들어, C:\Program Files(x86)\MapWindow\Plugins\GRM\PEST)(한국건설기술연구원, 2015).

1. MW-GRM plug-in에서 [GRM | Uncertainty analysis] 메뉴 실행
2. [Select GRM project file]에서 GRM 프로젝트 파일 선택
※ 프로젝트 파일을 열면 프로젝트 파일에 저장된 유역매개변수를 이용해서 GUI가 초기화된다.
3. (병렬 PEST를 실행할 경우) [Use Parallel PEST] 옵션에서 병렬 PEST를 이용할지 여부 선택
4. [Set GRM parameters to optimize] 탭에서 최적화할 매개변수를 체크해서 선택
5. 선택된 매개변수의 상한값[PARUBND]과 하한값[PARLBND] 입력

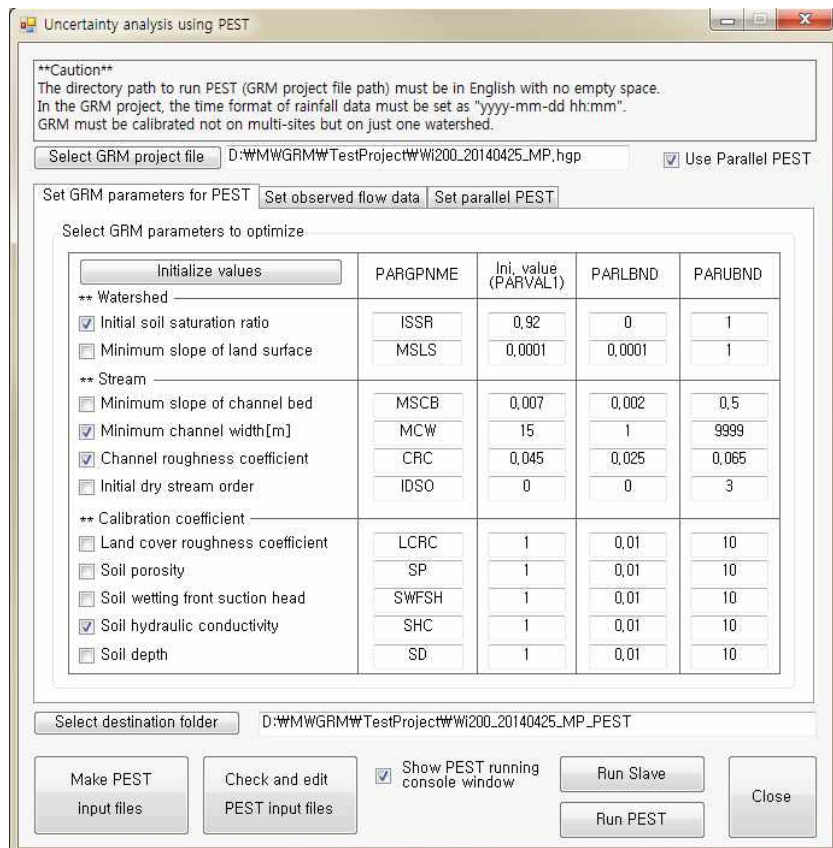


그림 7.1 최적화 대상 매개변수 설정

6. [Set observed flow data] 탭에서 관측 유량 설정

- [Select WP] 버튼을 클릭해서 모형보정에 사용할 watch point 선택
- [Select observed data] 버튼을 클릭해서 관측자료가 저장된 텍스트 파일 불러오기
- ※ 관측자료 파일의 포맷은 첫 줄에 watch point 이름, 둘째 줄부터 관측 유량 값을 입력하며, 한 줄에 하나의 값을 입력한다.

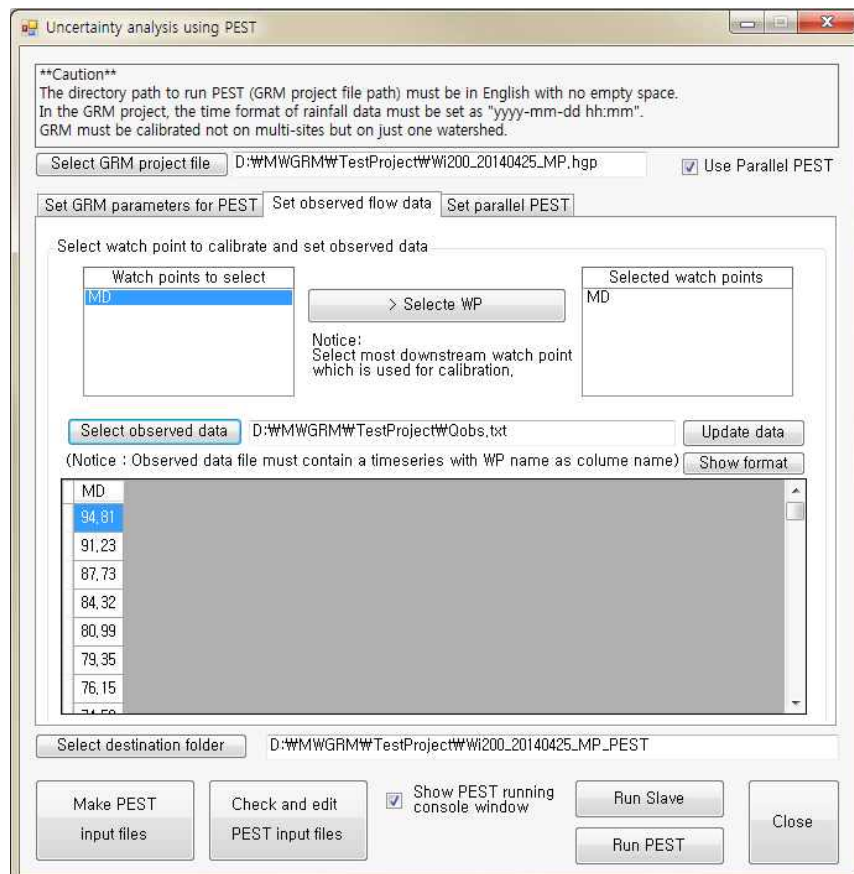


그림 7.2 관측자료 설정

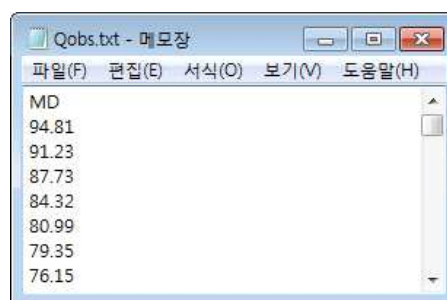


그림 7.3 관측자료 입력파일(예)

7. (병렬 PEST를 실행할 경우) [Set parallel PEST] 탭에서 ppest.exe 실행을 위한 매개변수 설정

- ※ [Use Parallel PEST] 옵션이 선택되어 있을 경우에만 활성화 됨

8. [Select destination folder]에서 PEST를 실행하고, 결과를 저장할 폴더 선택

9. [Make PEST input files]에서 PEST 입력 파일 생성
 - ※ Template file, instruction file, control file, (병렬 pest를 이용할 경우) run management file 생성
10. [Check and edit PEST input files]에서 생성된 PEST 입력파일을 텍스트 편집기에서 열고, 내용 확인 및 수정 가능
11. PEST 실행 console 창을 활성화 할 경우에는 [Show PEST running console window] 옵션 선택
12. (병렬 PEST를 실행할 경우) [Run Slave] 버튼을 클릭해서 pslave.exe를 먼저 실행
 - ※ [Use Parallel PEST] 옵션이 선택되어 있을 경우에만 활성화 됨
13. [Run PEST] 버튼을 클릭해서 PEST를 이용한 모형 보정 시작
 - ※ pest.exe 혹은 ppest.exe가 실행된다.

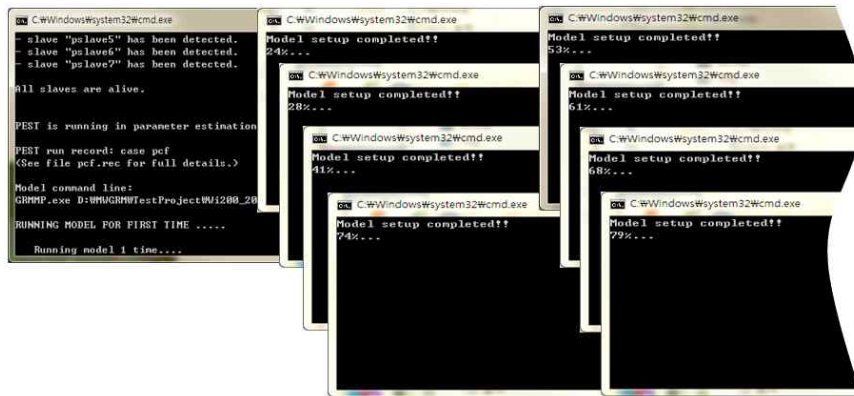


그림 7.4 ppest.exe 실행화면(8개 slave 실행)

14. pest.exe, ppest.exe 실행결과는 PEST record file(.rec) 파일에 기록되며, 매개변수 최적화 결과, 모의결과 등을 얻을 수 있다.

8. GRM Analyzer

GRM analyzer는 GRM을 이용한 유출해석 결과를 관측유량과 함께 그래프, 표, 그림으로 조회하는데 이용된다. 유출해석 중에 GRM analyzer가 실행되어 있으면, 현재의 모의결과를 실시간으로 조회할 수 있으며 그림 파일(.bmp)과 ESRI ASCII 래스터 파일(.asc)을 생성한다. 과거에 유출해석한 결과도 조회할 수 있다.

1. MW-GRM plug-in에서 [GRM | Run GRM | Setup/Run GRM]을 실행하고 [Simulation] 탭 선택
2. [Enable analyzer] 옵션을 선택하고, [Show analyzer] 버튼 클릭

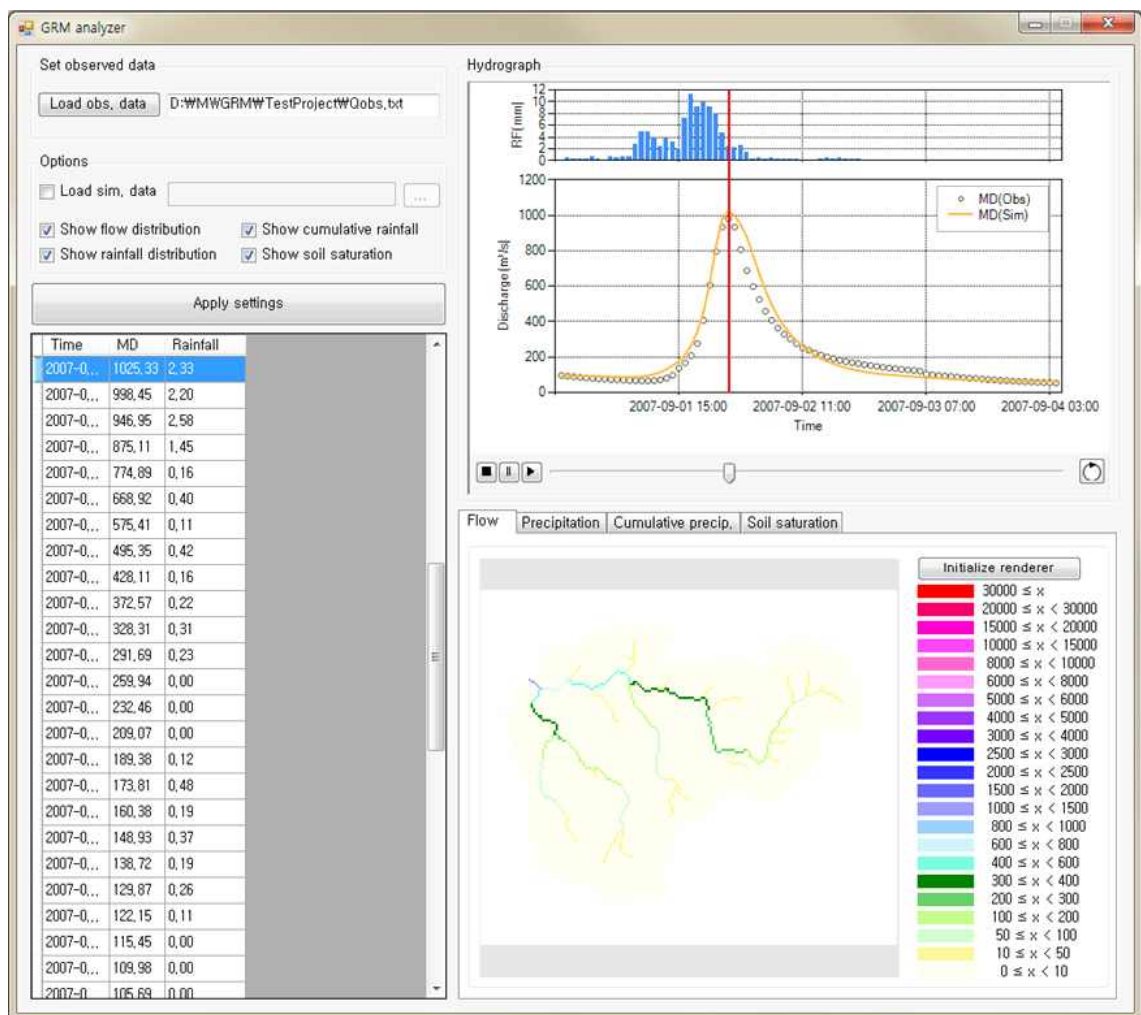


그림 8.1 GRM analyzer 실행화면

3. [Load obs. data] 버튼을 클릭해서 관측자료 불러오기

※ 관측자료 파일의 포맷은 첫 줄에 watch point 이름, 둘째 줄부터 관측 유량 값을 입력하며, 한 줄에 하나의 값을 입력한다.

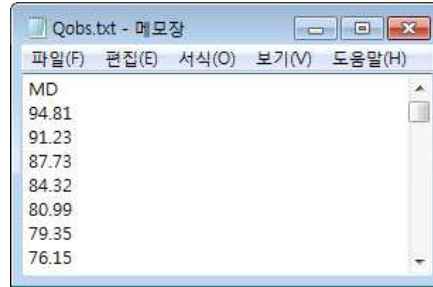


그림 8.2 관측자료 입력파일(예)

3. (과거에 계산한 결과를 불러올 경우에는) [Load sim. data] 옵션을 체크하고 GRM 모의결과 파일(.out)을 불러온다.(예를 들어, discharge.out)
4. 그림 파일(.bmp)과 ESRI ASCII 파일로 생성할 자료의 종류 선택
 - ※ GRM 모형은 분포형 모형이므로, 유역 전체에 대해 공간분포된 수문성분을 래스터 파일로 만들 수 있다. 현재 유출모의 결과 중 유량, 토양포화도, 강우, 누적강우의 공간분포 파일 생성 여부를 선택할 수 있다.
5. [Apply settings] 버튼을 클릭해서 GRM analyzer 환경변수를 적용한다.
6. (과거의 유출해석 결과를 조회할 경우) 표와 그래프, 그림 창에 각각의 정보가 표시된다.
7. (현재 유출해석 결과를 가시화 할 경우) Setup/Run GRM GUI에서 [Setup/Start simulation] 버튼을 클릭해서 유출해석을 시작한다.
 - ※ 유출해석 결과가 실시간으로 표, 그래프, 그림으로 가시화 된다.
 - ※ 유출해석 결과 그림 파일과 ASCII 파일은 'FlowD'(유량), 'SSD'(토양포화도), 'RFD'(강우), 'RFAccD'(누적강우) 폴더에 저장된다.
8. 유출해석이 끝난 후에는 계산 결과를 스크롤하면서 검토할 수 있다.
 - 재생 버튼(▶)을 클릭하면 유출해석 결과 애니메이션이 실행된다.
 - 멈춤 버튼(⏸)을 클릭하면 애니메이션이 멈춘다.
 - 마우스 혹은 키보드로 트랙커(👉)를 이동하면, 해당 시간에서의 표, 그래프, 그림이 표시된다.
 - 중지 버튼(■)을 클릭하면 첫 번째 계산결과로 이동한다.
 - 반복재행 버튼(🔄)을 클릭하면 유출해석 결과 애니메이션이 반복 재생된다.

9. GRM Tools

GRM Tools에서는 다수의 입력파일과 모의결과 파일을 전후처리하기 위한 다양한 도구를 포함하고 있다. MW-GRM plug-in 메뉴에서 실행한다.

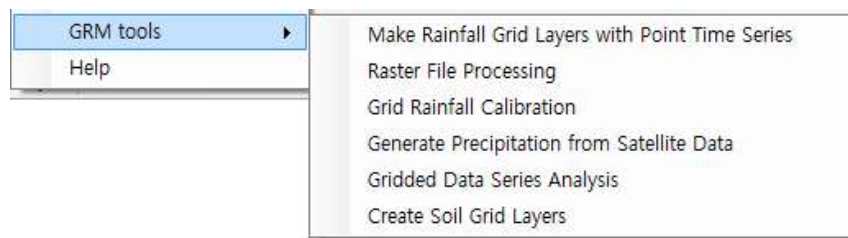


그림 9.1 GRM Tools 메뉴

9.1 Make Rainfall Grid Layers with Point Time Series

Thiessen polygon으로 구분된 영역에 대해 각각의 강우량 자료를 할당하는 방법과 역거리가중법(IDW, Inverse Distance Weighting)을 이용하여 공간분포된 강우레이어를 생성한다. 사용되는 base extent 레이어, 관측소 레이어는 MapWindow에 업로드 되어 있어야 한다.

1. [GRM Tools | Make Rainfall Grid Layers with Point Time Series] 메뉴 실행
2. 분포형 강우레이어 생성 방법 선택
 - IDW 방법을 선택할 경우에는 역거리 지수 계수를 입력한다(2를 입력할 경우는 RDS 방법).
3. [Select layer]에서 강우 레이어를 만들 때 참조할 레이어 선택
 - [Base grid layer]에 생성할 강우 레이어의 "Base extent" 래스터 레이어 선택
 - ※ Thiessen polygon 방법을 적용한 경우, Thiessen polygon을 래스터로 변환하여 [Base grid layer]에 입력하며, 래스터는 정수 값을 가져야 함
 - (IDW 방법을 선택한 경우) [Rainfall gauge layer]에 지점 강우값으로 참조할 강우관측소 포인트 레이어 선택
 - (IDW 방법을 선택한 경우) [Rainfall gauge name field]에 강우관측소 레이어에서 관측소 이름으로 사용할 필드 선택
4. [Gauge data source]에서 참조할 강우관측소 강우량 CSV 파일 선택
 - ※ 관측소 강우량 파일은 콤마(,)로 값이 구분되어 있어야 한다. Thiessen polygon 법을 선택하였을 경우에는 첫줄에 Thiessen polygon 래스터 레이어의 정수 값을 입력하고, IDW 방법을 적용한 경우에는 첫줄에 강우관측소 레이어에서 지정된 관측소 이름 필드의 값에 해당하는 관측소 이름이 입력되어 있어야 한다. 두 번째 줄부터는 각 폴리곤 래스터 번호 혹은 강우관측소에 해당하는 강우량 값을 입력한다.

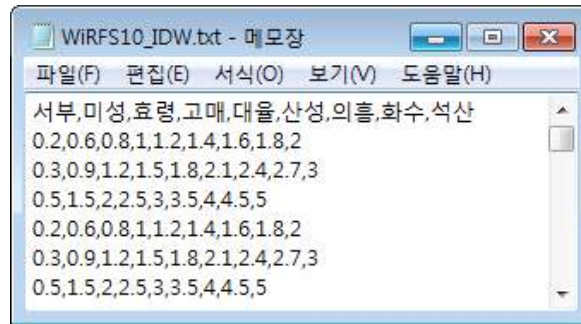


그림 9.2 강우관측소 강우량 CSV 파일(예)

5. [Apply process setting] 버튼 클릭
6. 계산 결과 레이어가 생성될 폴더를 선택하고, 필요시 파일명 접두어를 입력한다.
7. [Set rainfall starting time] 옵션을 선택할 경우에는 결과 파일 이름에 날자가 부여되며, 선택되지 않을 경우에는 일련번호가 부여된다.
8. [Make Rainfall Grid] 명령을 수행해서 분포형 강우 래스터 레이어를 생성한다.

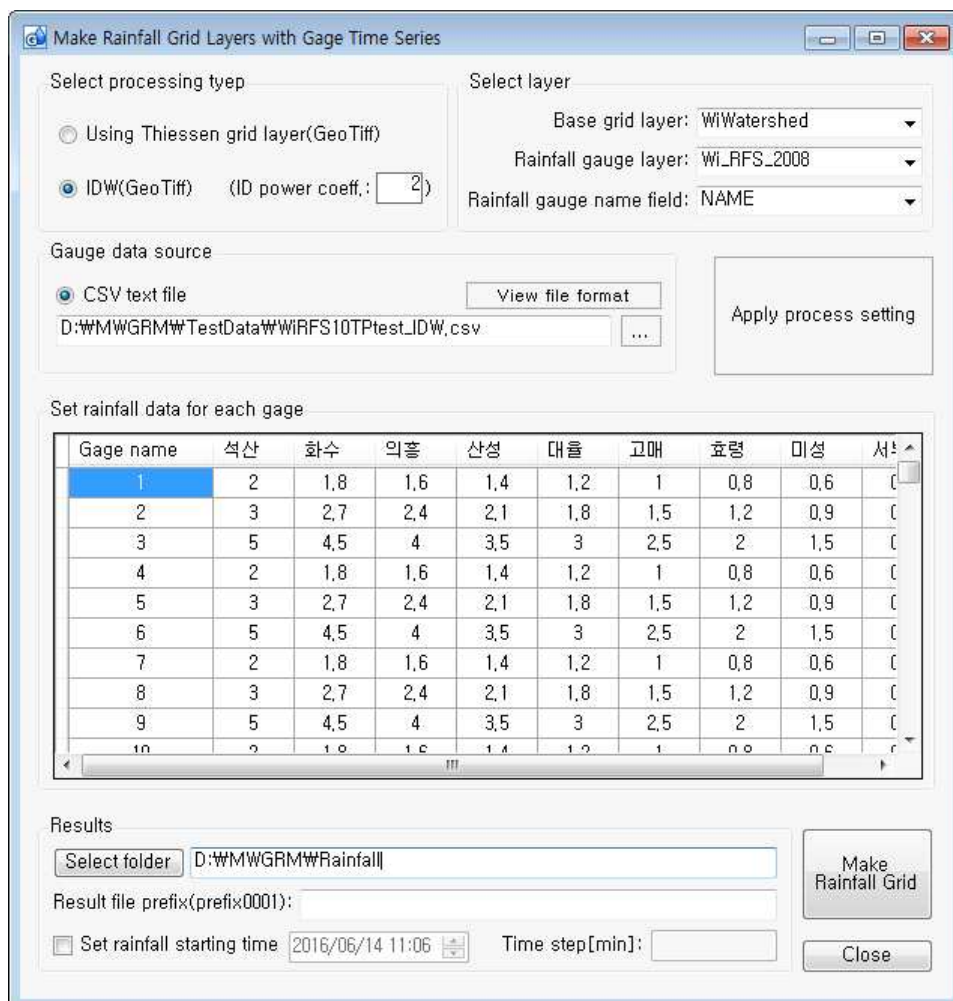


그림 3.3 Make Rainfall Grid Layers with Point Time Series

9.2 Raster File Processing

다수의 래스터 파일에 대해서 포맷변경, 클리핑 및 리샘플링, 파일이름 및 텍스트 내용 변경 등을 일괄 처리한다.

1. [GRM Tools | Raster File Processing] 메뉴 실행
2. [Convert], [Clip/resample], [Edit] 중 수행하고자 하는 작업 선택
3. [Clip/resample]에서는 처리하고자 하는 파일의 포맷 선택하고, 공간보간 방법 선택
 ※ Clipping과 resampling은 GDAL 실행파일을 이용한다. 그러므로 지원되는 파일 포맷도 GDAL의 형식을 따른다. GRM tools에서는 GeoTiff와 ESRI ASCII(AAIGrid)를 지원한다.
4. [Edit]에서는 다음의 기능 제공
 - [Rename files] : 다수 파일의 이름을 일괄 변경
 - [Rename files to DateTime format] : 다수 파일의 이름을 YYYYMMDDHHmm 형식으로 일괄 변경
 - [Relpace text in text files] : 다수의 텍스트 파일에 포함된 특정 문자열을 일괄 수정
5. 각 기능별 옵션 항목(base extent, resampling size, output data type 등)과 저장 경로를 입력하고 [Start] 버튼 클릭

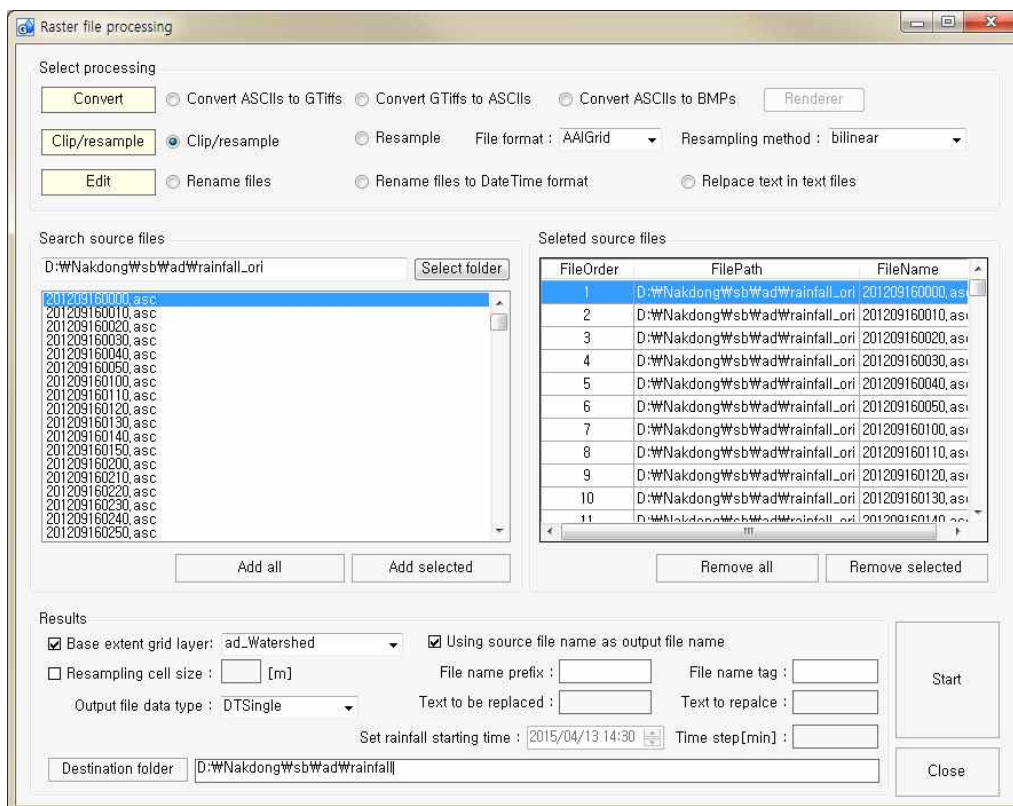


그림 9.4 Raster File Processing

9.3 Grid Rainfall Calibration

다수의 강우 래스터 레이어를 조건부합성법(conditional merging)을 이용해서 일괄 보정한다.

1. [GRM Tools | Grid Rainfall Calibration] 메뉴 실행
2. 강우 래스터 레이어 목록에서 보정하고자 하는 파일 선택
3. [Set gage position]에서 강우관측소 위치, 이름 정보 설정
 - [Use text file]을 선택할 경우 콤마(,)로 구분된 관측소이름, TM x 좌표, TM y 좌표 정보가 저장된 텍스트 파일을 불러온다.

```
GageName1, TMx1, TMy1
```

```
GageName2, TMx2, TMy2
```

```
. , . .
```

```
. , . .
```

**** Usage**

Gage name, longitude position(TM), latitude position(TM).

Write one gage in a line.

Comma(,) is used to separate each data.

- [Use point layer]를 선택할 경우 강우관측소 포인트 레이어와 관측소 이름으로 사용할 필드를 선택한다.
3. 보정에 적용될 강우관측소의 관측 강우량 파일(CSV)을 지정한다.

```
GageName1, GageName2, GageName3,...
```

```
Rainfall11, Rainfall2, Rainfall13,...
```

```
Rainfall21, Rainfall22, Rainfall23,...
```

```
Rainfall31, Rainfall32, Rainfall33,...
```

```
. , . , . , ,
```

```
. , . , . , ,
```

**** Usage**

First line contains gage name separated with comma(,).

Write rainfall data for each gage from second line.

Rainfall data number for each gage must be equal.

4. [Update process setting]을 실행하고, 정보 업데이트
5. 보정결과 레이어 저장 폴더를 입력하고 [Start CM] 명령 실행

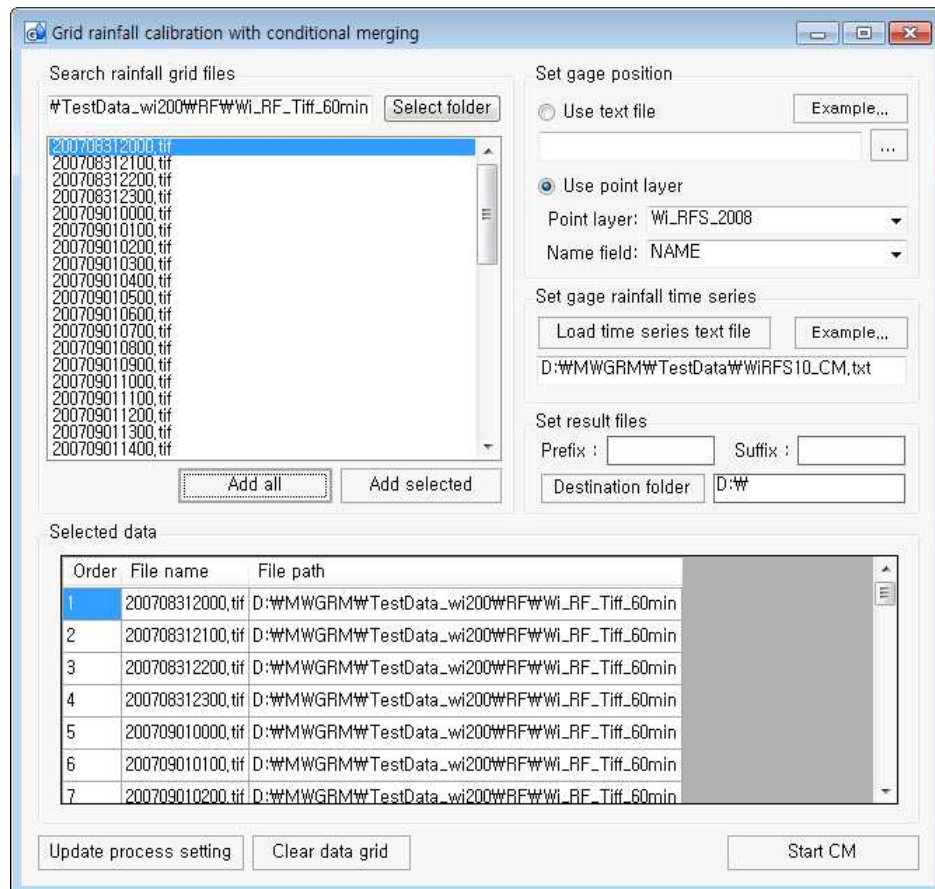


그림 9.5 Grid Rainfall Calibration using conditional merging

9.4 Generate Precipitation from Satellite Data

기상위성의 운정온도 값을 이용해서 강우량을 생성한다. NAWT(Negri Adler Wetzel Technique) 방법과 Power law 방법을 선택해서 적용할 수 있다.

1. 원본 기상위성 래스터 레이어 목록 설정
2. [Select method]에서 강우량 생성 방법 선택
3. 처리결과 파일이름과 경로를 설정하고, [Start calculation] 실행

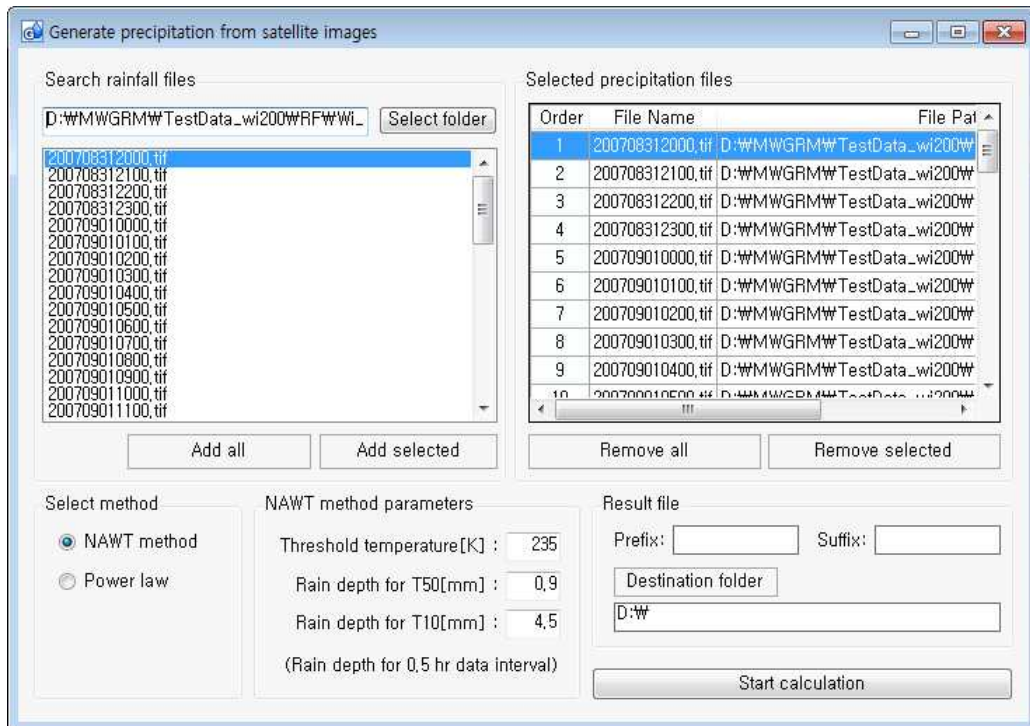


그림 9.6 Generate Precipitation from Satellite Data

9.5 Gridded Data Series Analysis

9.5.1 Extract grid data tab

다수의 래스터 레이어(강우 레이어 등)에서 특정 위치에 있는 격자의 값(강우량 등)을 일괄적으로 추출한다.

1. [GRM Tools | Gridded Data Series Analysis] 메뉴를 실행하고 [Extract grid data] 탭 선택
2. 분석 대상 강우레이어 목록을 추가한다.
3. [Set cell position]에서 분석 대상 격자의 위치정보 설정
4. [Start calculation]을 실행하여 계산 시작
5. 결과 테이블에서 [Time series] 필드를 더블클릭하면, 해당 지점에서의 격자 시계열 자료를 텍스트로 조회 가능

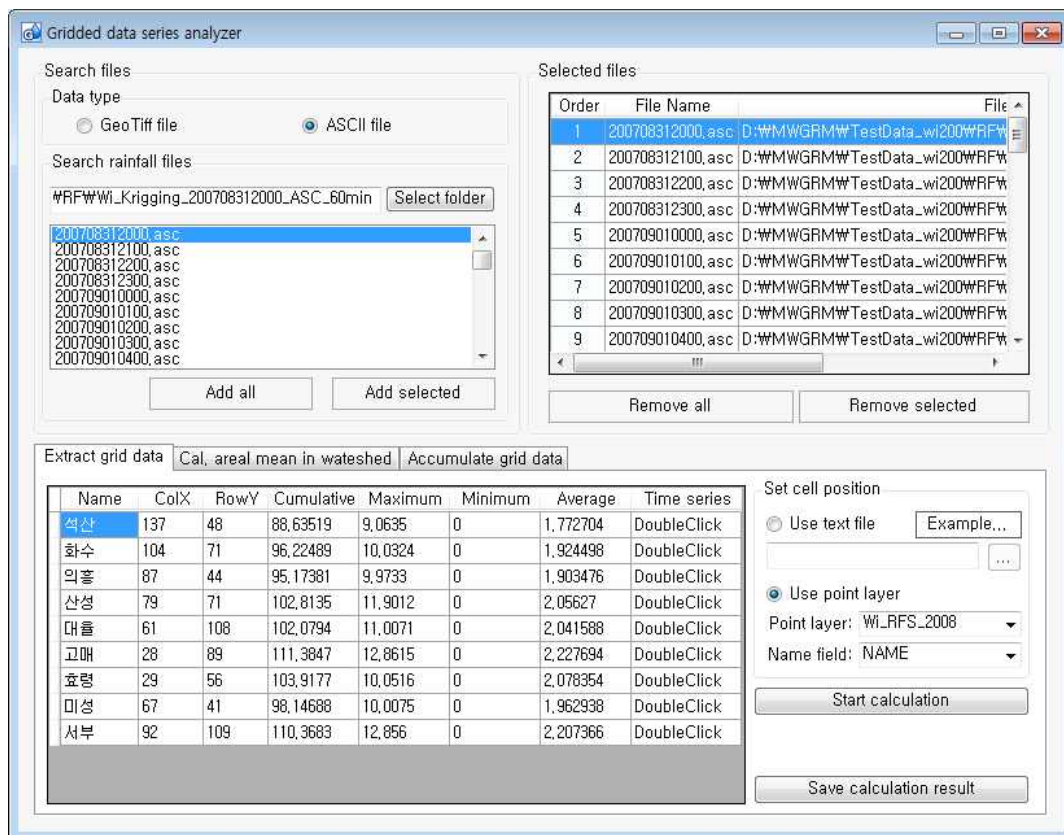


그림 9.7 Extract grid data tab

9.5.2 Cal. areal mean in watershed tab

다수의 래스터 레이어(강우 레이어 등)에서 면적평균 값(면적평균 강우량 등)을 계산한다.

1. [GRM Tools | Gridded Data Series Analysis] 메뉴를 실행하고 [Cal. areal mean in watershed] 탭 선택
2. [Select watershed layer]에서 면적평균 값 계산을 위한 영역(유역 등) 구분 래스터 레이어 선택

- ※ 영역 구분 래스터 레이어의 값은 일반적으로 정수형이다.
3. [Calculate areal mean] 버튼을 클릭해서 계산 시작
 4. 두개 이상의 영역을 합쳐서 평균값을 계산할 경우에는 [Watershed IDs to combine]에 대상 영역의 래스터 값을 입력하고, [Combine areal mean] 버튼 실행

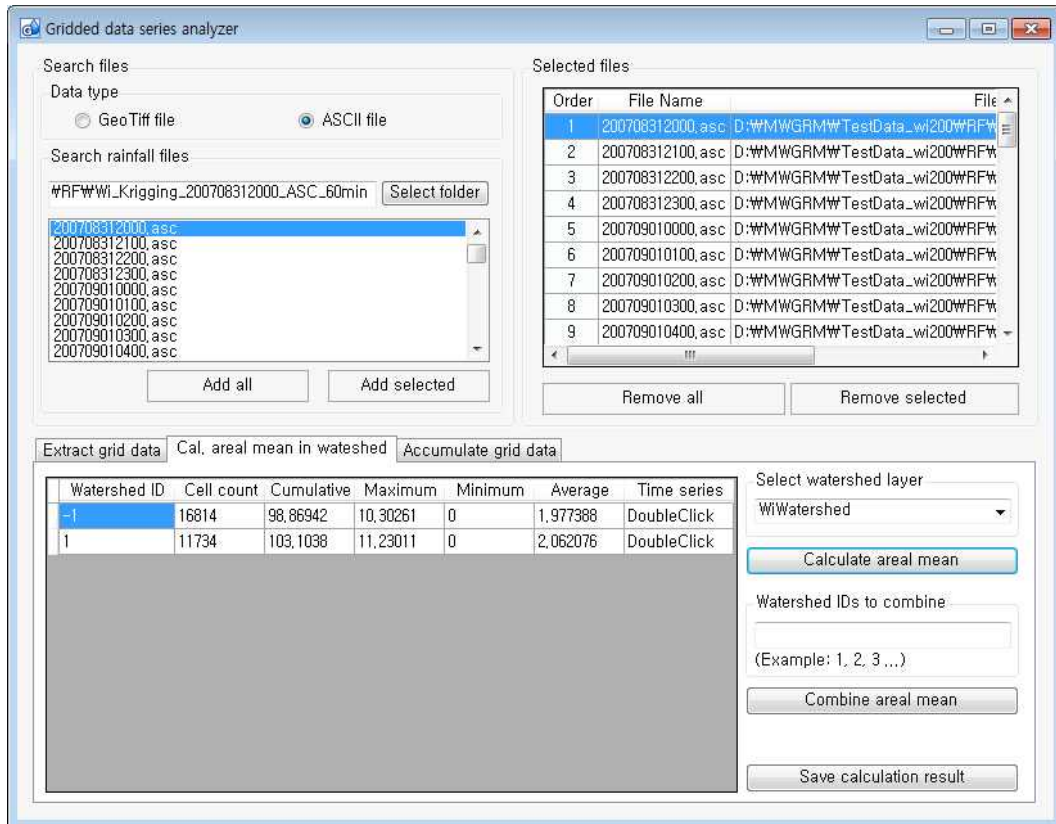


그림 9.8 Cal. areal mean in watershed tab

9.5.3 Accumulate grid data tab

다수의 래스터 레이어(강우 레이어 등) 시계열 자료를 전체 기간 누적 혹은 일정한 시간 간격으로 누적인 후 그 결과를 래스터 레이어로 생성한다.

1. [GRM Tools | Gridded Data Series Analysis] 메뉴를 실행하고 [Accumulated grid data] 탭 선택
2. 전체 기간에 대해 누적할 경우에는 [Accumulate all files] 선택
3. 특정 시간 간격으로 누적할 경우에는 [Aggregate specified interval] 선택
4. (특정 시간 간격으로 누적할 경우) [Source data info.]에서 입력파일의 시간 간격 입력
5. (특정 시간 간격으로 누적할 경우) [Result data info.]에서 누적할 시간 간격 및 시작 시간 입력
6. (전체 기간에 대해 누적할 경우) 계산결과를 저장할 폴더와 파일 이름 입력(하나의 파일 생성)
7. (특정 시간 간격으로 누적할 경우) 계산결과를 저장할 폴더 입력(다수의 파일 생성)
8. [Start accumulation] 버튼 실행

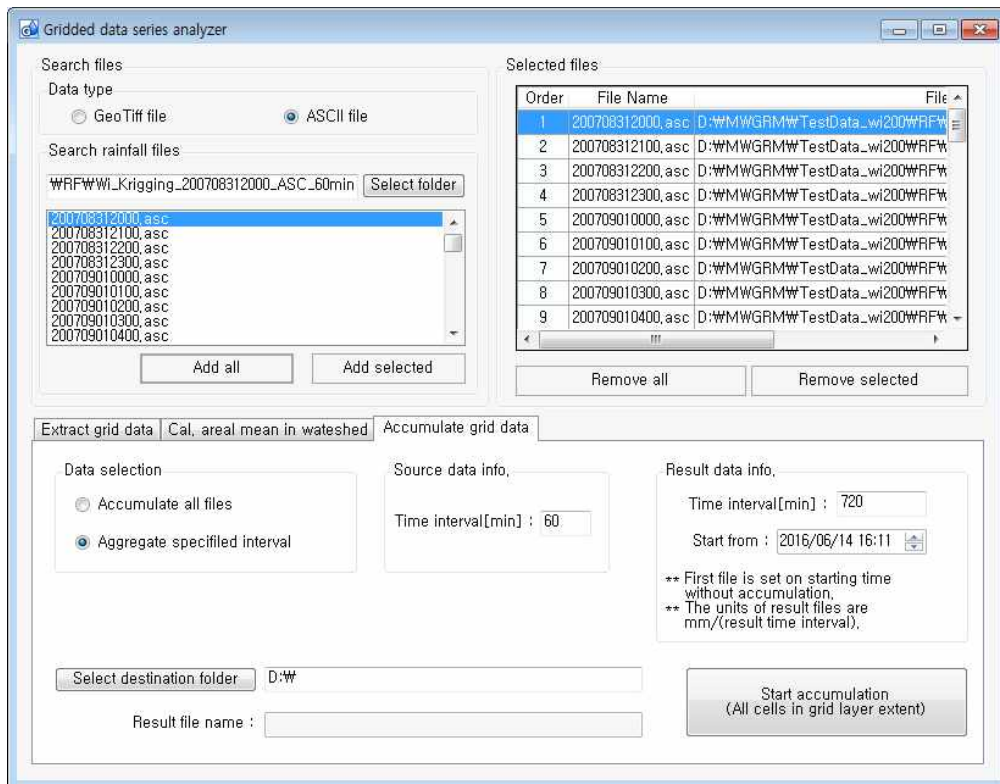


그림 9.9 Accumulate grid data tab

9.6 Create Soil Grid Layers

정밀토양도의 토양상(soil phase)을 이용해서 토성(soil texture) 레이어와 토양심(soil depth) 레이어를 생성한다.

1. [GRM Tools | Create Soil Grid Layers] 메뉴 실행
2. [Select source type]에서 원본 자료의 종류 선택
 - (원본 자료로 폴리곤 레이어를 선택할 경우) [Using soil polygon layer] 옵션을 선택하고, 토양도 레이어와 토양상 값이 입력된 필드 선택
 - (원본 자료로 토양상 래스터 레이어를 선택할 경우) [Using soil phase grid layer] 옵션을 선택하고, 토양상 래스터 레이어와 VAT 파일 입력
 - ※ 토양상 VAT 파일은 토양상의 개수, 래스터 레이어의 값, 래스터 레이어 값에 해당하는 토양상 속성을 포함한다.

<토양상 VAT 파일 형식>	<토양상 VAT 파일 샘플>
자료의 개수	283
래스터값1, 토양상속성1	1, KkB
래스터값2, 토양상속성2	2, KkC
래스터값3, 토양상속성3	3, Gq
.	.
.	.

3. [Base extent grid layer]에서 결과 레이어의 base extent로 사용할 래스터 레이어 선택
4. 토양 레이어 생성 결과를 저장한 폴더를 지정하고, 토성 혹은 토양심 레이어의 이름을 입력한 후 [Make grid layers] 명령 실행

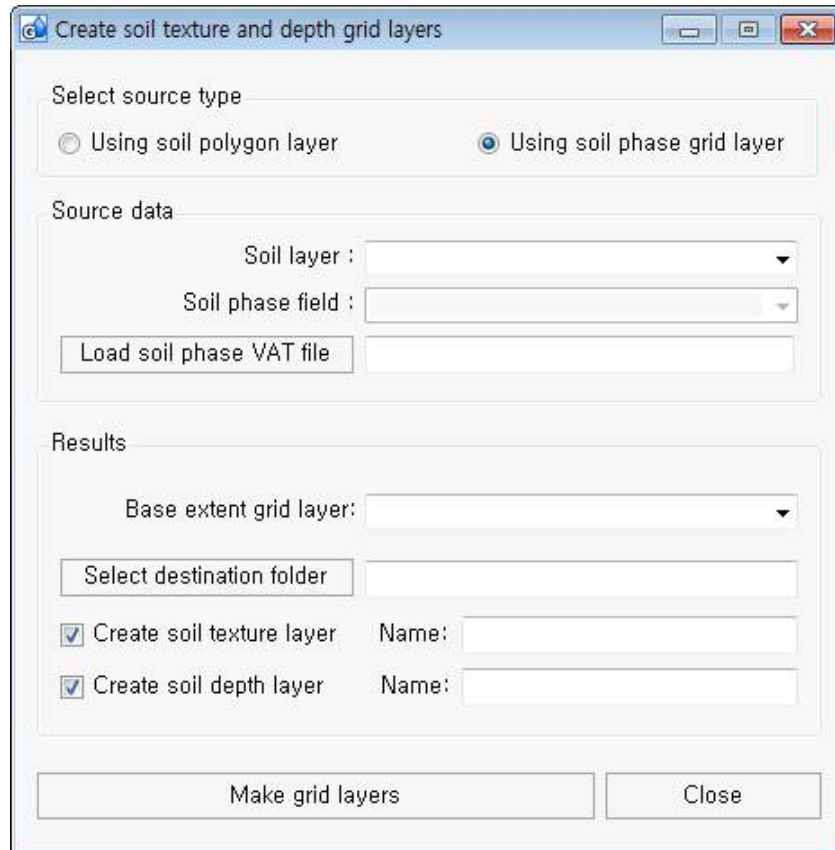


그림 9.10 Create Soil Grid Layers

10. GRM MP

GRM MP(Multiple projects)는 GUI 없이 console 창에서 실행된다. GRM MP를 실행하기 위해서는 MW-GRM에서 정상적으로 생성된 프로젝트 파일(.gmp, .mdb)과 입력자료가 준비되어야 한다. GRM MP를 이용해서 다수의 GRM 프로젝트 파일을 유출해석 할 경우에는 배치파일(.bat)을 작성해서 실행하면 된다. GRMMP.exe 파일은 MW-GRM 플러그인 실행파일 (GRM.dll)과 같은 폴더에 있다. 사용절차는 다음과 같다(한국건설기술연구원, 2015)..

1. gmp 파일과 mdb 파일을 모두가지는 base project를 준비한다.
 - ※ 이때 base gmp 파일은 mwGRM에서 정상적으로 로딩될 수 있어야 한다. 또한 프로젝트 파일에 저장된 파일경로, 입력자료 등이 모두 정상적으로 사용할 수 있어야 한다.
 - ※ 다수의 프로젝트를 배치파일로 실행할 경우에는 base project와 같은 폴더에 새로운 프로젝트 파일(gmp, mdb)을 만들어서 사용된다. 이때 gmp 파일만 새로 만들고, mdb 파일은 base mdb 파일과 같은 것을 사용할 경우에는 mdb 파일 내의 내용이 모두 overwrite 된다. 프로젝트 파일내에 있는 모든 파일(mdb 등)의 경로와 이름 등과 같은 오류 여부를 확인한다.
2. 모델링 대상 프로젝트 이름을 스위치(argument)로 넣고 grmmp.exe를 실행한다.
 - ※ 스위치 입력시 full path, name을 넣어야 하지만, 대상 프로젝트 파일이 grmmp 실행파일과 동일한 폴더에 있을 경우, path는 입력하지 않아도 된다. 또한 대상 프로젝트 이름과 경로에 공백이 포함될 경우 큰따옴표로 묶어서 입력한다.
3. grmmp.exe 실행문 사례(grmmp.exe가 d:\WGRMMP에 있을 경우)
 - grmmp.exe와 다른 폴더에 대상 파일들이 있을 경우
d:\WGRMMP>grmmp D:\WHyGRMWTestProject\WMPtest01.gmp
 - grmmp.exe와 같은 폴더에 대상 파일들이 있을 경우
d:\WGRMMP>grmmp 20130402_MPtest01.gmp
 - 파일 이름 혹은 경로에 공백이 포함된 경우
d:\WGRMMP>grmmp "D:\WHyGRMWTest Project\WMPtest 01.gmp"

11. GRM RT

GRM RT 모듈은 MapWindow plug-in으로 제공되지 않고, 실시간 유출해석 시스템 구축을 위한 API로 제공된다. 실시간 유출해석시에는 실시간으로 수집되는 유역평균 강우량 혹은 레이더 등을 이용해서 생성된 분포형 강우자료를 이용한다. 분포형 강우자료를 이용할 경우에는 대상 유역의 지형자료와 동일한 영역에 대해서 동일한 격자 크기로 clipping과 resampling 하는 과정이 선행되어야 한다.

실시간 유출해석을 위한 환경변수는 xml 텍스트 파일(.REF)을 이용한다. REF 파일은 현재 유역의 유출해석 프로젝트 파일(gmp)의 경로 및 이름, 실시간 강우자료가 저장되는 경로, 댐방류량 등 flow control 자료의 실시간 수신여부, (소유역 연계 다지점 보정 기법 적용시) 하류에 연결되는 소유역 정보 등 유역시스템 구성 정보 및 유출해석 초기 환경정보가 포함된다(한국건설기술연구원, 2015).

표 4.1 실시간 유출해석 환경설정 파일(.REF) 구조

파일명	필드명	설명
[Project name].REF (xml)	ProjectFPN	현재 유역의 유출해석 프로젝트 파일 이름, 경로
	RTRFolderName	실시간 강우자료 수신 폴더 경로
	IsFC	Flow control 격자 포함 여부
	IsDWSSexist	하류 연결 소유역 여부
	CWSSCVIDtoConnectWithDWSS	하류 소유역과 연결할 현재 소유역 격자의 검사 제척 번호(CVID)
	DWSSCVIDtoConnectWithUWSS	현재 소유역과 연결할 하류 소유역 격자의 검사 제척 번호(CVID)
	RFInterval_min	강우자료의 시간간격[분]
	OutputInterval_min	출력 시간간격[분]
	RTstartingTime	실시간 유출해석 시작 시간 [yyyymmddhhmm]

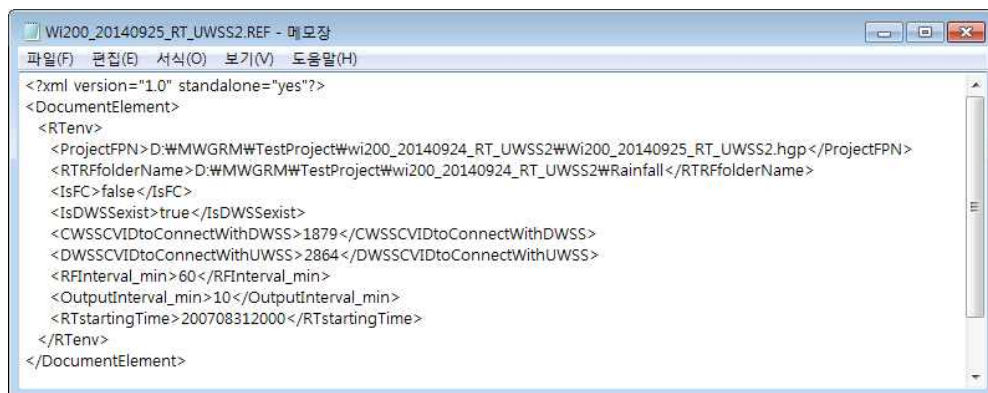


그림 9.1 REF 파일 사례

GRM RT를 응용시스템으로 구현하기 위해서는 MW-GRM plug-in 폴더에서 제공되는 GRM.dll과 GRMRTStarter.dll을 이용한다. GRMRTStarter.dll에서는 GRM RT를 구현하고 실행하기 위한 사용자 API를 제공한다(한국건설기술연구원, 2015).

표 11.2 GRMRTStarter에서 제공되는 API

클래스	기능
cGRMRTStarter	New(fpn_REF As String) 실시간 유출해석 환경 파일을 이용한 객체 생성 - fpn_REF : REF 파일 경로와 이름
	SetUpAndStartGRMRT() 실시간 유출해석 시작
	StopRTsimulation() 실시간 유출해석 종료
	UpdateWSPars(ByVal wsid As Integer, iniSat As Single, minSlopeChannel As Single, roughnessChannel As Single, soilHydraulicCond As Single, applyIniFlow As Boolean, Optional iniFlow As Single = 0) As Boolean GRM 매개변수 메모리 업데이트 - wsid : 소유역 번호 - iniSat : 초기포화도 - minSlopeChannel : 하도 최소경사 - roughnessChannel : 하도 조도계수 - soilHydraulicCond : 토양 수리전도도 - applyIniFlow : 초기유량 설정 여부 - iniFlow : 초기유량 값[CMS]
	SaveParsToProjectFile() 매개변수를 GRM 프로젝트 파일(.gmp)에 저장

참 고 문 헌

- 건설교통부. 2005. 하천설계기준.해설. pp. 262-265.
- 기초기술연구회. 2008. 위성자료 공공활용연구: 위성영상을 이용한 하천정보 생산 및 활용에 관한 연구. 한국건설기술연구원.
- 김경탁. 1998. GIS 적용에 따른 유출응답에 관한 연구. 박사학위논문, 인하대학교, pp. 94-98.
- 노성진, 최신우, 최윤석, 김경탁. 2014. 레이더 강우 및 분포형 수문모형의 공간해상도가 매개변수 추정치에 미치는 영향 평가. Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 34(5), pp. 1443-1454.
- 농업기술연구소. 1992. 증보 한국토양총설. 토양조사자료 13, 농촌진흥청, pp. 283-290.
- 박종관, 조경민, 양해근, 마루이 아츠나오. 2006. 호우시 구릉지 완사면에 발달된 'U자골' 곡두부에서의 지중수 거동. 대한지리학회지, 41(6), pp. 670-681.
- 사공호상. 2003. IKONOS 위성영상을 이용한 불투수지표면 분석방법에 관한 실증연구. 한국 GIS 학회지, 11(4), pp. 509-518.
- 소방방재청. 2012. 중소하천 홍수 예경보 체계 구축(1차년도 2세부). 한국건설기술연구원
- 오경두. 2009. 분포형 모형 VfloTM에 의한 수문해석. 제20회 수공학 워크샵 교재, 한국수자원학회, pp. 32-136.
- 최윤석. 2010. 지리정보시스템 기반의 물리적 분포형 강우-유출 모형 개발 및 평가. 박사학위논문, 인하대학교.
- 최윤석, 김경탁, 이진희. 2008. 유한체적법을 이용한 격자기반의 분포형 강우-유출 모형 개발. 한국수자원학회논문집, 41(9), pp. 895-905.
- 최윤석, 최천규, 김경탁. 2012. 분포형 모형의 다지점 보정 모듈 개발 - GRM 모형을 중심으로. 한국지리정보학회지, 15(3), pp. 103-118.
- 한국건설기술연구원. 2011a. HyGIS 개발 및 적용. 과학기술부.
- 한국건설기술연구원. 2011b. HyGIS-GRM User's manual.
- Ajami, N.K., H. Gupta, T. Wagener and S. Sorooshian. 2004. Calibration of a semi-distributed hydrologic model for streamflow estimation along a river system. Journal of Hydrology, 298, pp. 112-135.

- ASCE. 1996. River hydraulics. Technical engineering and design guides as adapted from the US Army Corps of Engineers, no. 18, ASCE Press, New York, pp. 58-61.
- Bras, R.L. 1990. Hydrology : an introduction to hydrologic science. Addison-Wesley publishing company, pp. 283-388.
- Beven, K. 1981. Kinematic subsurface stormflow. Water Resources Research, 17(5), pp. 1419-1424.
- Beven KJ, and O'Connell PE. 1982. On the role of a physically-based distributed modeling in hydrology. Institute of Hydrology Report No.81, Wallingford, UK, 7-10.
- Beven, K.J. and Kirkby, M.J. 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. Hydrological Sciences, 24(1), pp. 43-69.
- Brakensiek, D.L., Engleman, R.L., and Rawls, W.J. 1981. Variation within texture classes of soil water parameters. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 24(2), pp. 335-339.
- Chaudhry, M.H. 1993. Open-channel Flow. Prentice-Hall, pp. 82-86.
- Choi, Y.S., Choi, C.K., Kim, H.S., Kim, K.T., Kim, S.J. 2015. Multi-site calibration using a grid-based event rainfall-runoff model: a case study of the upstream areas of the Nakdong River basin in Korea. Hydrological Processes, 29, pp. 2089-2099.
- Choi, Y.S., Je, Y.H., Kim, K.T., Kim, J.H. 2015. MapWindow Plug-in of GRM Model Using Open Source Software. Proceedings of FOSS4G SEOUL 2015.
- Chow, V.T. 1959. Open-channel hydraulics. McGraw-Hill, pp. 101-123.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W. 1988. Applied hydrology. McGraw-Hill, pp. 110-147.
- Dawson CW, Abrahart RJ, Shamseldin AY, Wilby R.L. 2006. Flood estimation at ungauged sites using artificial neural networks. Journal of Hydrology, 319, pp. 391-409.
- Doherty, J. 2010. PEST: Model-Independent Parameter Estimation User Manual : 5th Edition. Watermark Numerical Computing, Australia.
- Dunne, T. and Black R.D. 1970. An experimental investigation of runoff production in permeable soils. Water Resources Research, 6(2), pp. 478-490.
- Engman, E.T. 1986. Roughness coefficients for routing surface runoff. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 112(1), pp. 39-53.

- Freeze, R.A. and Cherry, J.A. 1979. Groundwater. Prentice Hall, Inc., New Jersey, pp. 15-236.
- Henderson, F.M. 1966. Open channel flow. Macmillan Publishing Co., Inc., New York, pp. 355-383.
- Horton, R.E. 1933. The role of infiltration of hydrologic cycle. Transactions:American Geophysical Union, 14, pp. 446-460.
- Merz R, Blöschl G. 2004. Regionalisation of catchment model parameters. Journal of Hydrology, 287, pp. 95-123.
- Pilgrim D.H. 1983. Some problems in transferring hydrological relationships between small and large drainage basins and between regions. Journal of Hydrology, 65, pp. 49-72.
- Rawls, W.J., Brakensiek, D.L., and Miller, N. 1983. Green-Ampt infiltration parameters from soils data. Journal of Hydarulic Engineering, 109(1), pp. 62-70.
- Sloan, P.G. and Moore, I.D. 1984. Modeling subsurface stormflow on steeply sloping forested watersheds. Water Resources Research, 20(12), pp. 1815-1822.
- Vieux, B.E. 2004. Distributed Hydrologic Modeling Using GIS. Kluwer Academic Publishers.
- Young A. 2006. Stream flow simulation within UK ungauged catchments using a daily rainfall-runoff model. Journal of Hydrology, 320, pp. 155-172.