

# 지리정보시스템을 이용한 장기유출모형의 개발( I )

- 장기유출의 격자 모형화 -

## Development of a Cell-based Long-term Hydrologic Model Using Geographic Information System(I)

- Cell-based Long-term Hydrologic Modeling -

최       진       용\* · 정       하       우\*\*  
Choi,   Jin   Yong · Chung,   Ha   Woo

### Summary

A CELTHYM(CELL-based Long-term HYdrologic Model), a pre-processor and a post-processor that can be integrated with geographic information system(GIS) were developed to predict the stream flow from the small agricultural watershed on the daily basis. The CELTHYM calculates the direct runoff from a grid using SCS curve number method and then sum up all of cells with respect to a sub-catchment area belonged to a stream grid and integrated to an outlet. Base flow of a watershed outlet was computed by integrating of the base flow of each stream grid that was averaged the sub-catchment deep-percolation and calculated with the release rate. Two kind of water budget equation were used to compute the water balance in a grid that was classified into not paddy field and paddy field. One of the two equation is a soil water balance equation to account the soil moisture of the upland, forest and excluding paddy field grid. The other is a paddy water balance equation for the paddy field, calculating the ponding depth, the effective rainfall, the deep percolation and the evapotranspiration.

### I. 서    론

유역의 이수량과 물수지를 분석하기 위해서

는 기저유출을 포함한 일단위 이상의 유출량을 재현할 수 있는 장기유출모형을 이용하는 것이 바람직하며, 우리나라에서는 주로 Tank

\* 서울대학교 농업개발연구소

\*\* 서울대학교 농업생명과학대학

키워드 : 장기유출모형, 수문모형, 지리정보시스템, 유역증발산량

모형, 가지야마 월수수량 공식 등을 사용하였다. 이 중 가지야마 월 수수량 공식은 계산이 간단한 반면에 유역내 수문환경 특성이나 강우 형태에 따른 유출변화를 고려할 수 없는 단점이 있으며, 월단위로 수수량을 계산하므로 용수수급의 일단위 해석에 한계가 있었다. 한편, Tank 모형은 일단위 유출량 계산이 가능한 장기유출모형으로서 저수지 물수지 해석과 일별 용수수급모형에 사용되어 그 유용성이 입증된 바 있다. 그러나, 위에서 언급한 모형들은 총괄형 모형으로서 입력자료 작성용이하고 적용하기가 쉽지만 유역 수문량의 공간적 분포를 파악하는데 한계가 있고 유역 지상인자의 변화에 따른 수문 특성 변화를 재현하기가 어려운 점이 있었다. 이와 같은 총괄형 모형의 단점을 보완하기 위해서는 유역의 토지이용상황이나 지상인자의 변화에 따른 유출 및 수문인자의 변화를 파악할 수 있는 분포형 수문모형을 이용하는 것이 적합하며, 우리나라에서도 AGNPS, ANSERS와 같은 수문모형을 적용한 바 있다. 그러나 이는 분할 요소마다 지형, 토양, 토지이용상태와 같은 상세한 정보가 필요하며, 정교한 수문자료에 의해 보정되어야 하므로 적용에 걸림돌이 되어 왔다. 이와 같이 공간적으로 자세한 자료를 필요로 하는 분포형 매개변수 수문모형은 최근에 수문모형에의 응용이 보편화 되고 있는 지리정보시스템(GIS, Geographic Information System)을 이용하여 공간적 또는 지형적인 자료를 획득할 수 있다면 효과적으로 운영될 수 있을 것이다. 지리정보시스템은 공간자료를 수집, 관리, 분석하기 위한 지형, 지리데이터베이스 시스템으로서 지형공간자료를 수치지도 형태로 제공할 수 있는 장점을 가지고 있어, 미국 등 GIS가 발달된 나라에서는 ANSWERS, HEC과 같은 단기유출모형 뿐만 아니라 SHE, TOPMODEL 등과 같은 분포형 장기유출모형과 지리정보시스템의 통합 운영

을 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 한편 최근에 우리나라에서도 홍수유출해석, 농업 비점원 오염 해석, 수자원 관리 분야 등에 활발하게 지리정보시스템의 응용에 관한 연구가 진행되고 있으나 장기유출해석과 이에 대한 지리정보시스템 통합 운영에 관한 연구는 아직 미진한 상태에 있다.

따라서 본 논문의 제1보는 지리정보시스템에 구축된 수치고도모델, 토양도, 토지이용도 등으로 부터 추출된 격자형의 유역 지상인자와 기상자료를 이용하여 농촌 소유역의 일유출량을 재현할 수 있는 격자단위 장기유출모형 CELTHYM(Cell-based Long-Term HYdrologic Model)을 개발하는데 목적이 있으며, 제2보는 이 모형의 지리정보시스템과 통합 및 연계 운영이 가능하도록 하기 위한 입력자료 작성 전처리 시스템과 유역수문량의 공간적 현황 파악이 가능한 후처리 시스템의 개발하는데 목적이 있고, 제3보는 CELTHYM과 전·후처리모형의 적용성을 검토 하는데 목적이 있다.

## II. 장기유출의 격자 모형화

본 연구에서는 농촌 소유역에서 사용할 수 있는 격자단위 자료를 이용한 격자형 일단위 장기유출모형, CELTHYM을 개발하였으며 이의 개념도는 Fig. 1과 같다. 본 모형은 Fig. 1에서와 같이 하천 격자에 해당되는 여러개의 격자로 구성된 소유역을 형성시키고, 이 소유역들을 합하여 전체유역이 되도록 유역을 분할 하였다. 장기유출모형에서의 유출량은 지표유출량과 중간유출량을 합한 직접유출량과 기저유출량으로 구분하였으며, 직접유출량은 격자별로 SCS curve number법에 의해 계산하도록 하였고, 강우량에서 직접유출량을 뺀 나머지를 토양수분잔존량으로 산정한 후에, 이로부터 토양수분과 지하침투량을 계산하고,

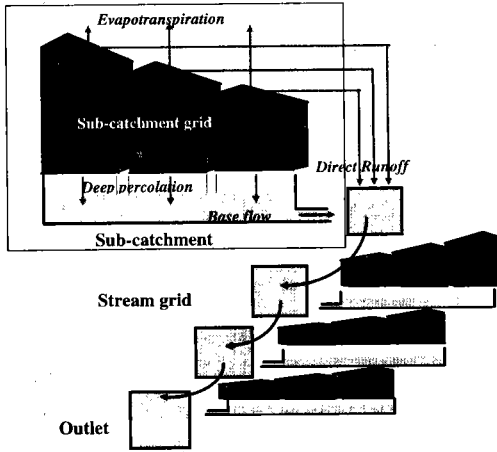


Fig. 1. Conceptual modeling of cell-based long-term hydrologic model, CELTHYM

증발산량을 산정하도록 하였다. 기저유출은 전체 유역을 몇 개의 하천 격자가 지배하는 소유역으로 분할하고, 소유역내의 격자별로 계산된 지하배수량을 합산하여 평균한 유출심과 유출율을 이용하여 계산하도록 하였다. 유역 유출구에서의 유출량은 소유역내 격자의 직접유출량을 합산한 소유역 직접유출량과 소유역의 기저유출량을 전체 유역에 대하여 합산하여 산정할 수 있도록 하였다. 또한 유역 증발산량은 FAO 수정 Penman식에 의해 증발산량을 계산할 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 유역내 물수지을 식 (1)과 같이 구성하였다.

$$\Delta STO = RAIN - Q_{dr} - Q_{bf} - WET \dots\dots (1)$$

위 식에서  $\Delta STO$ 는 유역내 저류량으로서 토양수분변화량, 지하수위 변화량 등이며, RAIN은 강수량,  $Q_{dr}$ 은 직접유출량,  $Q_{bf}$ 는 기저유출량, WET는 유역의 증발산량이다.

### 1. 직접유출의 계산

강우에 의한 직접유출량의 산정은 지금까지

여러 연구자에 의하여 지리정보시스템과 통합되어 운영된 바 있는 미국 토양보전국에서 개발한 SCS 유출곡선번호법(Curve Number Method, 이하 CN방법)을 이용하였다.

#### 가. CN의 계산

지표면의 토지이용상태, 경작방법, 토지피복의 수문학적 상태(hydrologic condition), 수문학적 토양군(hydrologic soil group) 그리고 선행강우 조건(AMC)에 의해 유출곡선번호(curve number, CN)를 결정할 수 있으며, 이는 전처리 시스템의 CN 산정 루틴에서 계산된다. 한편 CN 산정 루틴에서 계산되는 CN 값은 AMC II 조건의 경우로서 CN은 선행강우조건에 의하여 AMC I, AMC III로 변환하여 사용되어야 한다. 본 연구에서는 설계홍수량 산정을 위한 선행강우조건으로 CN을 산정하는 방법의 불연속성을 보완하고, 서술적으로 정의된 AMC 조건에 따른 CN 산정의 기준을 설정하기 위하여 일별 토양수분에 의해 CN을 계산하는 방법을 제안하였다<sup>9)</sup>. 보통, 토양의 수분은 위조점(wilting point)과 포장용수량(field capacity) 사이에서 변화하게 되고, SCS의 National Engineering Handbook에서 AMC I은 유출 잠재능이 최저인 경우, AMC III은 유출 잠재능이 최대인 경우라 정의한 바, AMC II의 CN 값이 토양의 최대 유효수분량(Maximum Available Soil Moisture, ASMmax)의 50% 일 때의 값이라고 가정하고, 다음과 같이 CN 값 보정식을 구성하였다.

만약 토양수분(SM)이 토양의 최대 유효수분량의 50% 보다 작으면 보정계수 a는 식 (2)와 같이 계산하여 식 (3)에서 CN을 산정한다.

$$a = (SM - WP) / (0.5 \times ASMmax) \dots\dots (2)$$

$$CN = a \times CN_{II} + (1 - a) \times CN_{I} \dots\dots (3)$$

토양의 유효수분이 최대 유효수분량의 50% 보다 크면 보정계수 a는 식 (4)와 같이 계산하여 식 (5)에서 CN을 산정한다.

$$a = (ASM_{max} - (SM - WP)) / (0.5 \times ASM_{max}) \dots\dots\dots (4)$$

$$CN = a \times CN_{II} + (1 - a) \times CN_{III} \dots\dots (5)$$

**나. 직접유출량의 계산**

각 격자에 대한 CN이 결정되면 먼저 초기 손실 및 잠재저류능 S를 식 (6)에 의해 구한다.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \dots\dots\dots (6)$$

각 격자의 직접유출량 q(mm)는 강우량 P(mm)와 식 (6)에서 계산된 잠재저류능 S에 의해 식 (7)을 이용하여 계산하였다.

$$q_{dr} = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \dots\dots\dots (7)$$

소유역의 직접유출량 Q<sub>sub</sub>(mm)는 각 격자에서 얻어진 q<sub>dr</sub>의 합산으로 식 (8)을 이용하여 계산하였다.

$$Q_{sub} = \sum_{i=1}^N q_{dr_i} / N \dots\dots\dots (8)$$

여기서 N은 소유역내 격자수이다. 유역 전체의 직접유출량 Q<sub>dr</sub>(mm)는 각 격자에서 얻어진 Q<sub>sub</sub>의 합산으로 식 (9)을 이용하여 계산하였다.

$$Q_{dr} = \sum_{j=1}^M (Q_{sub_j} \cdot AF_j) \dots\dots\dots (9)$$

여기서 M은 소유역의 갯수이며 AF는 전체 유역에 대한 소유역의 면적비이다.

**2. 토양수분의 계산**

장기유출모형의 개발에서 반드시 필요한 수

문량 계산 중의 하나가 토양수분량 산정이다. 연속적인 토양수분의 계산은 유역내 토양 수분량의 추정과 강우의 발생시 초기 침투량과 직접유출량을 계산할 수 있는 중요한 지표로 사용될 수 있을 뿐 아니라 증발산량과 지하배수량의 산정에 영향을 미치게 된다. 본 모형에서는 유역을 토지이용상태에 따라 논 지대와 논 이외의 지역으로 구분하고 논 지대가 아닌 지역은 유효토심내 일단위 토양수분량의 변화를 계산할 수 있도록 하였으며 논에서는 논 물수지식을 이용하여 계산하도록 하였다. 격자별 토양수분의 수지식은 다음과 같이 물의 유입과 유출의 차이로서 나타낼 수 있으며, 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta SM = SM_t - SM_{t-1} = (RAIN_t + UP_t + HI_t) - (q_{dr_t} + ET_t + DP_t + HO_t) \dots\dots (10)$$

여기서, ΔSM은 유효토심내에서의 토양수분 변화량(mm), RAIN은 강우량(mm), UP는 모관력에 의한 수분 상승량(mm), HI는 횡방향 수분유입량(mm), q<sub>t</sub>은 직접유출량(mm), ET는 작물에 의한 증산량과 토양면에서의 증발량(mm), DP는 유효토층 하부에서의 지하배수량(mm), HO는 횡방향 수분유출량(mm)이다. 횡방향으로의 토양 수분 이동과 모관력에 의한 수분상승을 무시하면, 토양수분량은 식 (11)과 같이 단순화 될 수 있으며 이를 그림으로 나타내면 Fig. 2와 같다.

$$SM_t = SM_t + SR_t - ET_{t-1} - DP_t \dots\dots (11)$$

$$SR_t = RAIN_t - q_{dr_t} \dots\dots\dots (12)$$

식 (11)에서 토양수분잔존량 SR(soil water retention)을 계산하기 위한 직접유출량 q<sub>dr</sub>은 SWATRER(Revised Soil Water and Actual Transpiration Rate)<sup>10)</sup>에서 토양수분량 산정

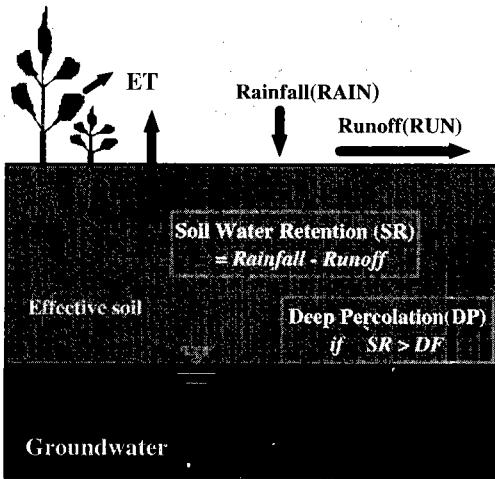


Fig. 2. Schematic diagram of soil moisture balance in a grid

에 사용된 방법과 같은 CN 방법을 이용하였으며, 직접 유출량을 강우량으로부터 제외하여 토양수분잔존량을 산정하는 것이다.

한편 유효토심내에서 토양수분잔존량 SR로 충족시킬 수 있는 최대값인 최대토양수분미흡량 DFmax는 식 (13)으로 계산할 수 있다.

$$DF_{max} = ASM_{max} = FC - WP \dots\dots\dots (13)$$

여기서 FC는 포장용수량(field capacity, mm), WP는 위조점(wilting point, mm)이다. 식 (13)에서 계산된 DFmax는 증발산량에 의하여 소비될 수 있는 토양의 최대유효수분량(maximum available soil moisture : ASMmax)과 같다.

DFmax는 토양의 종류에 따라 토양수분, 지하배수량, 지하수위에 영향을 미치는 토양내 최대 토양수분저류량을 나타낸다. 따라서 DFmax의 크기를 조정함으로써 지하수위에 영향을 미치는 지하배수량을 조절할 수 있고 이를 이용하여 기저유출량의 양을 조절할 수 있다. 따라서 본 모형에서는 식 (14)와 같이 DFmax에 보정 매개변수인 토양수분저류계수

(soil moisture storage coefficient, STC)를 곱하여 DFmax의 양을 보정한 DFmaxadj를 계산하고, 이를 이용하여 토양내 수분의 저류량을 조절하여 유출량을 보정할 수 있도록 하였다.

$$DF_{max_{adj}} = STC \times DF_{max} \\ = STC \times (FC - WP) \dots\dots\dots (14)$$

한편, 실제로 유효토심내에서 토양수분잔존량 SR로 충족시킬 수 있는 토양수분미흡량 DF(soil moisture deficit, mm)는 일별 토양수분조건에 따라 변화하게 되는데, 이는 식 (15)와 같이 계산하였다.

$$DF_t = FC - SM_t \dots\dots\dots (15)$$

지하배수량 DP는 SR과 DF의 조건에 따라 식 (16)과 식 (17)로 계산된다.

$$\text{if } SR_t > DF_t \\ DP_t = SR_t - DF_t \dots\dots\dots (16)$$

$$\text{if } SR_t < DF_t \\ DP_t = 0 \dots\dots\dots (16)$$

### 3. 논외 물수지 계산

토지이용상태가 논으로 사용되는 경우에는 모내기 이후부터 추수 낙수기 까지 중간낙수기를 제외하고 답수상태로 포장이 운영되므로 이 기간 동안에는 토양이 포화상태로 존재하며, 토양수분에 의한 증발산량 감소가 거의 발생하지 않게 된다. 이와 같이 답수상태로 있는 논지대의 물수지는 식 (18)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta PD_t = RAIN_t + IRR_t - ET_t - q_{dr} - DP_t \\ \dots\dots\dots (18)$$

위에서  $\Delta PD$ 는 담수심 변화량(mm), RAIN은 강수량(mm), ET는 증발산량(mm),  $q_{dr}$ 은 직접유출량(mm),  $DP$ (mm)는 지하배수량, IRRI(mm)는 관개량이다.

한편, 지하배수량은 경운, 씨레질 등의 영농작업으로 토층 내부에 형성되는 경반(hard pan)조건을 고려하여야 하며, 이는 유역의 경작 상황에 따라 다르므로 논 지대에서의 1일 동안의 지하배수량  $DP$ (Deep Percolation on Paddy, mm)는 유역상황에 따라 입력자료로 처리하여 계산하였다.

#### 4. 기저유출의 계산

유역에서의 기저유출은 유역내 지하수가 하천으로 배제되는 것으로 생각할 수 있다. 본 연구에서의 기저유출은 어떤 하천 격자에 기여하는 유역을 소유역으로 분할하고, 소유역은 다시 여러 개의 격자로 구분하여 기저유출량을 계산하도록 하였다. 소유역의 기저유출량은 각 격자에서 계산된 지하배수량( $DP$ )을 소유역별로 합산하고, 이들 값을 평균하여 소유역의 기저유출심( $Z$ , mm)을 산정하였고, 유출율(release rate,  $K$ )에 따라 소유역의 기저유출량을 계산하도록 하였다. 전체유역의 유출구에서 기저유출량은 소유역의 기저유출량을 총합하여 계산하도록 하였다.

소유역별 임의시간의 기저유출량  $q_{dr}$ 는 시간을 고려하여 식 (19)로 나타낼 수 있다.

$$d_{bf_i} = K \cdot Z_{(t-1)} \dots\dots\dots (19)$$

여기서  $d_{bf}$ 는 소유역의 기저유출량이며,  $K$ 는 하천 격자에 유입되는 소유역의 유출율이고,  $Z$ 는 소유역의 평균유출심이며, 식 (20)과 같이 계산하였다. 식 (19)에서  $K$ 는 기저유출량을 조절하는 유출율로서 본 모형에서는 기저유출량의 매개변수로 취했다.

$$Z_t = Z_{(t-1)} + DP_{avg_t} \dots\dots\dots (20)$$

$$DP_{avg_t} = (\sum_{i=1}^N DP_{t_i}) / N \dots\dots\dots (21)$$

식 (20)에서  $DP_{avg}$ 는 어떤 소유역 내의 격자별 지하배수량의 평균값이며, 식 (21)과 같이 계산하며,  $N$ 은 소유역내 격자수이다. 따라서, 유역의 기저유출량  $Q_{bf}$ (mm)는 소유역의  $q_{bf}$ 를 합하여 식 (22)와 같이 계산할 수 있다.

$$Q_{bf_t} = \sum_{j=1}^M (q_{bf_j} \cdot AF_j) \dots\dots\dots (22)$$

여기서  $M$ 은 소유역 갯수이며,  $AF$ 는 전체 유역에 대한 소유역의 면적비이다.

#### 5. 유역증발산량 산정

##### 가. 증발산량의 계산

실제 증발산량  $ET$ 는 잠재증발산량에 작물계수( $K_c$ )와 토양수분계수( $K_s$ )를 곱하여 얻을 수 있다. 본 연구에서는 지형특성, 토지이용상태, 토양수분을 고려하여 증발산량을 산정하였다. 잠재증발산량은 FAO 수정 Penman식을 이용하여 계산하였다.

작물의 실제 증발산량은 토양수분과 지표의 피복상태에 따라 달라지는데 이는 식 (23) 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$ET_o = K_c \cdot K_s \cdot PET \dots\dots\dots (23)$$

여기서  $ET_a$ 는 실제 증발산량,  $K_c$ 는 피복에 따른 작물별 작물계수,  $K_s$ 는 토양수분에 따른 계수,  $PET$ 는 잠재 증발산량이다.

유역에서의 격자단위의 증발산량은 격자별 잠재증발산량에 격자별 토지이용상태와 시간을 고려한 작물계수를 곱하고, 토양수분에 따른 토양수분계수를 다시 곱하여 계산하게 되며, 유역 증발산량은 격자단위 증발산량을 평균하여 산정된다.

나. 잠재증발산량의 산정

1948년 Penman이 발표한 Penman 증발산량 산정식은 복합적 기상요인을 많이 포함하고 있기 때문에 정확성이 높고 일단위 잠재증발산량을 산정할 수 있어 관계계획, 수문모형 등에 많이 이용하고 있는 식이다. Penman식은 일사량으로 증발산량을 계산하는 에너지항과 공기의 흐름에 의해 증발산량을 계산하는 공기동력항을 포함하는 복합형 증발산량 계산식으로서 그 동안 이 식에 대해서는 많이 수정 보완시켜 왔다. 그 중 1977년 발표된 FAO 수정 Penman식은 많은 실험을 통하여 산정된 계수들이 제시되어 있고<sup>6)</sup> 유용성이 입증되어 지금까지 많이 사용되고 있다. FAO 수정 Penman식은 식 (24)와 같다.

$$PET = C[W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d)] \dots\dots\dots (24)$$

여기서 PET는 기준작물(reference crop)의 잠재증발산량(mm/day), W는 온도로 계산되는 가중치(weighting factor), R<sub>n</sub>은 순일사량(mm/day), f(u)는 풍속함수, e<sub>a</sub> - e<sub>d</sub>는 평균 기온에서 공기의 포화수증기압과 실제수증기압과의 차이, C는 주야의 기후차에 의한 보정계수이다.

다. 작물계수

식 (23)에서 K<sub>c</sub>는 토지이용상태와 시기에 따라 변화하게 되는데, 이는 Table-1에 제시한 토지이용에 따른 시기별 작물계수를사용하였다.

Table-1. Monthly potential evapotranspiration crop coefficient

Land use	Monthly evapotranspiration crop coefficients, K <sub>c</sub>												Average
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	
Conifer	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.6
Deciduous	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.7
Mixed	0.4	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.7
addy	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.3	1.0	0.6	0.5	0.4	0.7
Upland	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.2	0.8	1.3	0.8	0.4	0.8
Others	0.4	0.5	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.5	0.4	0.6

\* source 1) USDA Forest Service(1976).

2) Institute of Agricultural Development & Science, SNU(1986).

\* adapted from Heo(1992)<sup>11)</sup>.

라. 토양수분계수

식 (23)에서 K<sub>s</sub>는 토양의 유효수분량에 따라 증발산량이 변화하는 것을 고려하는 계수로서 Jensen et al.(1971)이 제시한 식 (25)를 사용하였다.

$$K_s = \ln(Aw + 1) / \ln(101) \dots\dots\dots (25)$$

위에서 Aw는 유효토양수분백분율(%)이다.

III. 장기유출모형의 구성

장기유출모형은 직접유출량, 증발산량, 토양수분량, 기저유출량을 계산하도록 구성되어 있으며 강우자료를 날짜별로 읽어서 시작일부터 종료일까지 연속적으로 모의 발생하도록 하였다. 모형의 구성과 프로그램의 흐름도는 Fig. 4와 같다. 모형의 매개변수는 지하수의 투수계수 K와 토양수분저류계수 STC이다.

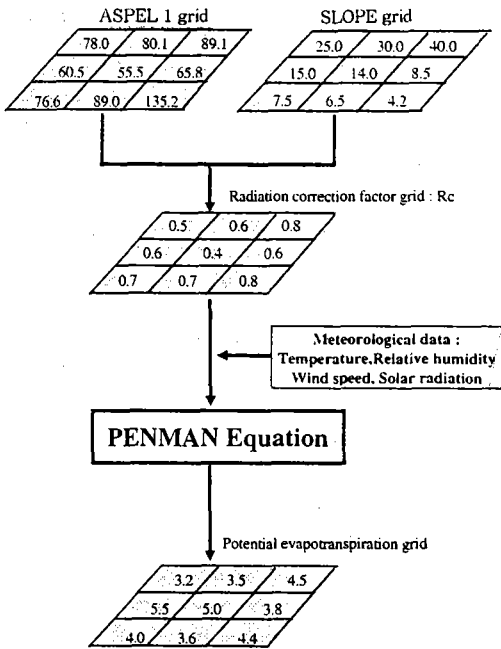


Fig. 3. Flow chart of CELTHYM

1. 모형의 입력자료

본 연구에서 개발된 장기유출 모형의 입력 자료를 정리하면 Table-2와 같으며, 이 중에 격자자료는 GIS 소프트웨어인 ARC/INFO와 연구에서 개발된 자료의 전처리 시스템을 이용하여 입력자료를 작성한다. CELTHYM의 입력파일은 격자 자료로서 landuse.asc는 토지이용도, avail\_m.asc는 최대유효토양수분량, scs\_cn.asc는 유출곡선번호, sub\_ws.asc는 분할 소유역, evapo.asc는 잠재증발산량 등이 입력되며, 소유역 관련 자료로서 sub\_ws.dat 으로 소유역 갯수, 번호, 면적, 평균고도에 관한 자료가 입력되고, rainfall.dat 파일로 일별 강우량자료가 입력된다.

2. 모형의 출력자료

본 연구에서 개발된 장기유출 모형에 의해 계산된 결과는 유출량, 잠재증발산량, 토양수분 등이며, 이를 정리하면 Table-3과 같다. 그

Table-2. Input data description of CELTHYM

File name	Input data	Description
landuse.asc	* Grid ascii format with file header	Landuse
avail_m.asc	* Grid ascii format with file header(mm)	Maximum available soil moisture
scs_cn.asc	* Grid ascii format with file header	SCS CN
sub_ws.asc	* Grid ascii format with file header	Sub-watershed grid data
evapo.asc	* Grid ascii format with date	Potential evapotranspiration of cell effected topographic characteristic
sub_ws.dat	* Free format * First record - Number of sub-watershed - Total cell count w/o nodata - Cell size * Below first record - Sub-watershed number - Count of cell of sub-watershed - Area fraction of sub-watershed - Average elevation of sub-watershed	Output from sub-watershed generating pre-processor
rainfall.dat	* Free format - Month - Date - Rainfall(mm)	

내용을 살펴보면 사용자가 정의하는 출력파일에는 일별 유역토양수분, 유역증발산량, 직접유출량, 기저유출량, 총유출량 등이 출력되며, sub\_ws\_runoff.out 파일에는 소유역별 직접유출량, 기저유출량, 총유출량 등이 출력된다. 격자형태의 출력자료는 grid\_runoff.out, grid\_soil\_m.out, grid\_evapo.out 파일이 생성되



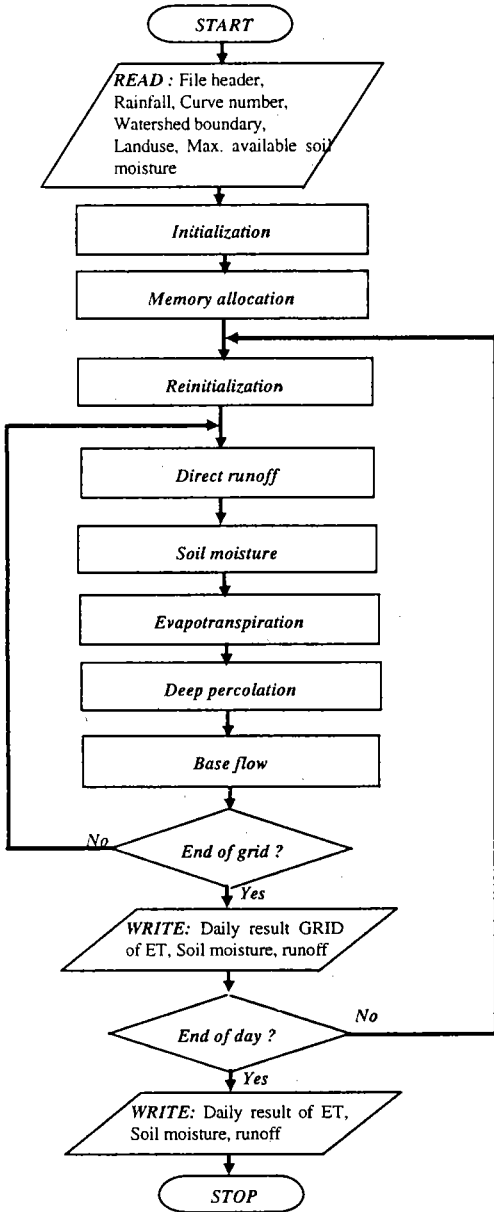


Fig. 4.

며, 격자별 직접유출량, 토양수분, 증발산량 계산결과가 각각 수록되고, meta\_map.out 파일에는 격자자료에 대한 정보가 기록되어 출력된다. CELTHYM의 계산결과는 본 연구에서 개발된 후처리 시스템의 입력자료로 사용된다.

Table-3. Output result de scription of CELTHYM

File name	Input data	Description
User define	- Date - Rainfall - Direct runoff - Base flow - Total runoff - Soil moisture - Evapotranspiration - Soil moisture retention	Watershed averaged and outlet runoff result
sub_ws-runoff.out	* Free format - Date(month day) - Sub-catchment direct runoff - Accumulated direct runoff - Sub-catchment base flow - Accumulated base flow	Stream cell runoff result
grid-runoff.out	* Grid ascii format with date	Watershed cell based
grid-soil-m.out	* Grid ascii format with date	Watershed cell based
grid-evapo.out	* Grid ascii format with date	Watershed cell based
meta-map.out	* Number of column, row lower left corner coord, cell size, nodata value	Map header

#### IV. 요약

농촌 소유역의 일 유출량 추정을 위하여 지리정보시스템으로부터 추출된 유역의 지상인자와 일기상자료를 이용하여 유출량을 추정할 수 있는 격자형 장기유출 모형 CELTHYM (CELL-based Long-Term HYdrologic Model) 을 개발하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. CELTHYM의 유역 격자 물수지 모형에서의 유출량은 직접유출량과 기저유출량으로

구분하였으며, 격자별로 직접유출량을 curve number에 의해 계산하도록 하였다.

2. 기저유출량은 전체 유역을 몇 개의 하천 격자가 지배하는 소유역으로 분할한 후, 소유역의 유출심(Z)과 유출율(K)을 이용하여 계산하도록 하였다.

3. 유역 유출구에서의 유출량은 소유역내 격자의 직접유출량과 기저유출량을 전체 유역에 대하여 합산하여 산정할 수 있도록 하였다.

4. 논 이외의 지역에서의 토양수분 계산은 토양수분 물수지식을 이용하여 계산하였고, 논 지대에서는 논 물수지식을 이용하여 담수심을 계산하도록 하였다.

5. CELTHYM의 유역증발산량은 FAO 수정 Penman식을 사용하여 잠재증발산량 산정하였으며, 작물계수와 토양수분계수를 이용하여 유역증발산량을 계산할 수 있도록 하였다.

### 참 고 문 헌

1. 고덕구, 1989, 소유역 장기유출 예측을 위한 모의발생 수문모형의 개발, 서울대학교 박사학위 논문
2. 김대식, 정하우, 김성준, 최진용, 1995, 소유역 지표유출의 공간적해석을 위한 지리정보시스템의 응용모형(II) - 격자 물수지모형을 위한 GIS 응용 모형 개발 -, 한국농공학회지, Vol.37(5), pp.35-42
3. 노재경, 1991, 토양수분저류에 의한 일 유출량 유역 모형, 서울대학교 박사학위 논문
4. 박승우, 1984, 소유역 수문모형의 개발과 응용(I) - 모형의 구성 -, 한국농공학회지, Vol.26(2) ,pp. 125-132
5. 유근배, 1990, 지리정보론, 상조사
6. 정하우 외, 1985-1988, 작물소비수량 산정방법의 정립, 서울대학교 농업개발연구

- 소, 농수산부, 농업진흥공사
7. 정하우 외, 1987-1990, 밭 작물 소비수량 산정방법 정립 연구(I-IV), 서울대학교 농업개발연구소, 농림수산부, 농업진흥공사
8. 정하우, 김성준, 최진용, 김대식, 1995, 소유역 지표유출의 시간적·공간적 재현을 위한 GIS 응용모형, 한국GIS학회지, Vol. 3(2), pp.136-146
9. 최진용, 1996, 지리정보시스템을 이용한 장기유출모형의 개발에 관한 연구, 서울대학교 박사학위 논문집
10. 최진용, 정하우, 1995, 토양수분이동모형 SWATRER의 적용성 분석, 한국농공학회지, Vol. 37(6), pp.82-91
11. 허유만, 1992, 중소유역의 일별용수수급해석을 위한 하천망 모형의 개발, 서울대학교 박사학위 논문
12. Beven, K., R. Lamb, P. Quinn, R. Romanowicz, and J. Freer, 1995, TOPMODEL, Computer Models of Watershed Hydrology, Ed. Singh, V. P., Water Resources Publication, pp.627-668
13. Chase S. B., 1991, The integration of hydrologic simulation models and geographic information, Ph. D. Thesis. University of Rhode Island
14. Doorenbos, J., and W. O. Pruitt, 1977, Crop Water Requirement, FAO Paper Vol.24, FAO, Rome
15. Pruitt, W. O., J. L. Wright, R. D. Burman, and P. R. Nixon, 1983, Water Requirements, Design and Operation of Farm Irrigation Systems, Ed. by M. E. Jensen, An ASAE Monograph No.3, ASAE, Michigan
16. Romanowicz, R., and K. Beven, J. Freer, and R. Moore, 1993, TOPMODEL as an application module within WIS,

- HydroGIS 93 : Application of Geographic Information System in Hydrology and Water Resources, IAHS Publ. No.211, pp. 211-223
17. Singh, V. P., 1989, Hydrologic Systems, Watershed Modeling, Prentice Hall
18. U. S. Department of Agriculture, 1971, SCS National Engineering Handbook, Section 4. Hydrology, USDA SCS, Washington
- (접수일자 : 1996년 11월 14일)