

山地流域에 대한 USDAHL-74 流域水文模型의 長期流出 解析適用

Application of USDAHL-74 Watershed Model to a Long
Term Runoff Analysis in the Mountainous Watershed

權 純 國* · 高 德 九*
Kwun, Soon Kuk · Koh, Deuk Koo

Summary

Due to their wide range of application, deterministic comprehensive hydrologic models using digital computers have been developed in all countries of the world and researches are being undertaken for their appropriate applications. The aim of this study has been to demonstrate the practical implementation of a physically based distributed hydrologic model, the USDAHL-74 model and to investigate its ability to simulate the long term estimate of water balance quantities in a Korean mountainous watershed. Application of the model to Dochuk watershed indicates the following results.

1. Since the USDAHL-74 model includes all the major components of the hydrologic cycle in agricultural watersheds, thus is comprehensive, the model seems to have a wide range of application from the fact that simulation results obtained are not only runoff volumes in various time units but their spatial variation as well as even soil moisture within the watershed.
2. An approximate calibration to determine the parameter values in the model using various data obtained from Dochuk watershed shows that the simulation error of yearly runoff volume is only 0.6 % and a correlation coefficient between observed daily runoff volume and simulated one is 0.91 in all calibrated period.
3. As a verification test of the model, runoff volumes are simulated using 1986 year data without changing the parameter values determined by 1985 year data. The tests show that the USDAHL-74 model is a flexible tool and that realistic production to simulate the long term estimate of runoff in Korean mountainous watershed could be obtained using only a short period of calibration.
4. Despite of the encouraging results, there still remain minor problems concerning the practical application of the model to improve the result of simulations. Some of these are the small discrepancies between observed and simulated daily runoff volume appeared in the vicinity of peaks and the recession of the daily hydrographs and the model performance for the frozen ground and melting process in the model.

* 서울大學校 農科大學

5. Although the use of parameter with physical significance and the ability to improve calibrations on the basis of physical reasoning represents advantages in the simulation for ungaged watersheds, further researches are needed to use the USDAHL-74 model to simulate runoff in ungaged watersheds.

I. 緒 言

최근 급진적인 產業의 발달로 인하여 水資源에 대한 수요가 급증하고 또한 水污染등으로 水資源利用에 문제가 제기되고 있는 가운데 우리나라 農業의 大宗을 이루고 있는 벼농사의 安定的인 生산을 위해서는 農業用水를 확보하고 이를合理的으로 分配, 利用하게 하는 綜合的인 계획의 수립이 필연적인 과제로 등장하게 되었다.

그러나 이를 위해서는 반드시 流域의 상세한 水文循環特性의 定量的인 파악이 선행되어야 한다. 이 중에서도 특히 중요시 되고 있는 것은 降雨로부터 長期流出量을 예측하기 위한 具體的인 方法의 개발로서 이를 究明하고자 지금까지 많은 研究가 수행되어 왔으며 최근 선진국에서는 電算機의 發達 및 利用擴大에 힘입어 電算機를 이용한 流域水文模型의 활용이 보편화되고 있는 추세이다.

우리나라에서도 斷片的으로나마 몇 가지 確定論的 流域水文model이 소개되어 사용된 바 있으며 1970年代 大單位農業用發事業의 일부 水文分析에 사용된 바 있는 日本에서 開發된 텅크모형이 그 代表的인 實例라 할 수 있다. 그러나 본 모형은 활용에 대한 기술이 전이 미흡하였고 補正되어야 할 模型파라메타의 수가 너무 많을 뿐 아니라 파라메타 自體가 지니는 物理性의 결핍 때문에 그 이용이 정착되지 못하는 실정이다.²²⁾

水文學者나 技術者가 궁극적으로 추구하는 流域水文model은 水文觀測記錄이 없는 未計測流域에서도 높은 精度의 각종 水文量이 豫測될 수 있는 것으로서 이를 위하여 模型이 지녀야 할 基本的인 屬性은 실제 流域에서의 水文舉動이 物理的으로 表現될 수 있어야 하는데, 이러한 要請에 잘 부합되는 流域水文model이 USDAHL-74 模型이다.^{14,23)}

USDAHL-74模型¹⁴⁾은 流域의 거의 모든 水文循環過程을 모두 고려하고 있을 뿐아니라 農業生産에 관련된 상세한 내용을 포함하고 있다.

우리나라에서는 아직까지 본 模型에 대한 適用例가 없으나 美國에서는 건조지대, 목야지, 산림지 등에서의 많은 적용을 통하여 農業流域에서 특히 우수한 模型임이 立證된 바 있다.^{2,5,6,8,9,10,11,12,18,20)}

본 研究의 目的은 USDAHL-74 모형을 우리나라 山地流域에 적용하여 그 適合性과 特微을 밝히는데 있다. 이를 위하여 먼저 模型内部를 우리나라의 山地流域에 적용시킬 수 있도록 土壤水分의 分配에 관한 부분 등 一部를 改訂하였고, 본 模型의 模擬發生試驗을 위하여 京機道 廣州郡 所在 都尺代表試驗流域에서 수집된 流域氣象 및 流出量測定資料가 이용되었다.

그러나 未計測流域에 대한 USDAHL-74模型의 適用性 檢討는 本 研究에서 제외되었는데 이는 앞으로 해결해야 할 研究課題일 것으로 생각된다.

II. 研究對象流域의 概要

都尺代表試驗流域은 경기도 광주군 도척면 상림리에 위치한 流域面積 5.9km²의 소유역이며 서울大農大 中部演習林의 一部로 되어 있다.²²⁾ (Fig. 1) 本 流域의 標高는 110~644m, 平均傾斜

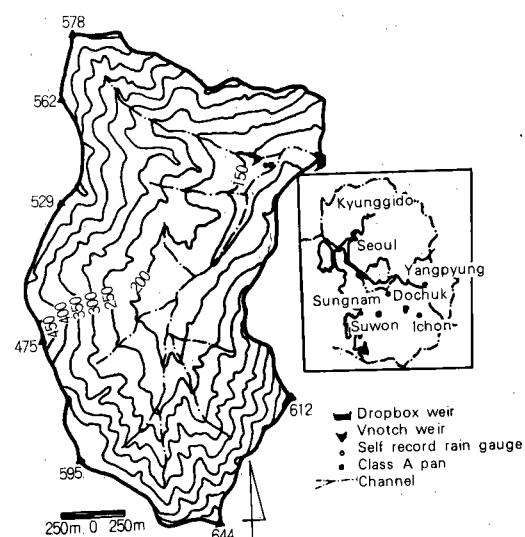


Fig. 1. Location and topographical map of Do-chuk Watershed

Table-1. Physiographical characteristics of Dochuk Watershed

Characteristics	Values	Units
Total catchment area	5.89	km ²
Length of the longest stream	3.3	km
Boundary length	11	km
Distance to the center	1.9	km
Highest elevation	+644	m
Lowest elevation	+110	m
Mean elevation of the stream	+255	m
Shape factor	0.54	
Stream density	0.0015	
Mean slope of the stream	1/11	

는 34.7%이다. 본 流域은 전면적의 75%가 선 캠브리아기의 黑雲母 片麻岩이며 一部는 花崗片麻岩, 瓦長片麻岩, 班狀變晶片麻岩등도 있으며 流域의 流出口 부근에는 沖積屬이 分布되어 있다. 이와같은 地質조건에 따라 土壤도 大部分 排水가 양호한 砂壤土 내지 植壤土이다.²⁴⁾

植被은 대부분이 참나무류이고 그외 잣나무, 일본 잎갈나무가 混生하고 있다. 土地利用狀況은 流域의 大部分이 山林地이고 林相은 양호한 편이며 農耕地는 전체 유역면적의 8%에 지나지 않는다. 流域의 主要特性은 Table 1에서 보는 바와 같다.

한편 1983 以來 都尺代表試驗流域에서는 水文研究를 위한 각종 水文氣象 및 流域資料를 수집하고 있으며 현재 流出量測定을 위한 웨어 2個所, 自記水位計 2組, 自記降雨計 1組, 大型 Class A pan 1組가 설치되어 있다. 그외에 氣溫, 濕度등도 測定되고 있다.^{22,23)}水位記錄을 流出量 가록으로 환산하기 위한 河川의 水位-流量關係도 이미 작성되어 있다.²³⁾

III. USDAHL - 74 流域水文模型

1. 模型의 概要

USDAHL - 74 模型은 1970년 美國 農務省 水文研究所(Hydrograph Laboratory, USDA)에서 개발된 USDAHL - 70模型¹³⁾을 기본으로 物作의 生長, 蒸發散 및 土壤貯溜能에 관한 부분을 改訂하여 1974년에 發表된 凡用 流域水文模型이다.¹⁴⁾ 그후 많은 研究機關에서 각기의 목적과 지역특성에 맞도록 개정되어 왔으며 이의 대표적인 實例로서 USDAHL - UOM(University of Maryland)

Table-2. Main and subroutine programs of USD AHL-74 model and their function

Program name	Function
USDAHL	main program that calls subroutines and prints storm hydrograph
DATA	prepares break point input data of rainfall and snow for use in the model by melting increments labeled S for snow as functions of temperature, rain and vegetation.
NDAYS	calculates the interval between break points.
ETCALC	calculates evapotranspiration using the equation $ET = GI * K * EP$ for potential zone ET, from which actual ET is calculated as an exponential function of soil moisture
EVAP	calculates evaporation directly from the free water and on soil
INFIL	calculates the volume of infiltration into a zone and the amount of precipitation excess of a zone, from which overland flows are routed for each increment between break points
INIT	initializes all values
LANUSE	reads, writes and calculates values which describe the vegetative factor of the watershed.
OUTPUT	calculates 24 hours of routing intervals and prints standard daily summary.
PARAMS	reads and writes all the input parameters and initializes some values.
ROUTE	calculates the rate of flow at the end of the time period by channel routing.
SUBSUR	calculates recovery from the top soil by lateral flow and downward seepage and routes seepage through the series of layers calculating lateral and downward flow for each layer of soil.
SUMRY	prints annual output.
STAT	calculates statistics of simulation results.

模型은 模型内部의 地下水 移動에 대한 알고리즘을 개선하여 山地流域에서의 이용도를 높인 것이다.¹⁵⁾

USDAHL-74 模型의 기본적인 특징은 確定論的 模型이면서 分散形 模型이라는 것이다. 즉 본모형의 각 成分은 流域에서 일어나는 물리적 과정을 代數函數로 묘사하고 있으므로 소위 確率函數를 基本으로 한 推計的 模型과는 區分된다. 그 뿐만 아니라 流域의 土壤, 土地利用, 地形條件이 비슷한 구역을 하나로 묶어서 流域파라메타의 時間的, 空間的 變異를 고려할 수 있게 되어 있으므로 分散形模型으로 간주할 수 있다. 또한 USDAHL-74模型은 農作業, 作物, 植生등에 대한 多은 函數를 포함하고 있으므로 農業流域의 流出量, 水分量 模擬發生에 적당한 구조를 가지고 있다.

2. 模型의 構造

USDAHL-74模型은 凡用 流域水文模型으로서 土壤의 貯溜, 浸入, 蒸發散, 地表流 및 河川流 追跡, 地下水 등 水文循環의 거의 모든 과정을 다 포함하고 있다. 따라서 본모형은 한개의 主프로그램과 13개의 부프로그램으로 구성되어 있으며 그 흐름도는 Fig. 2와 같고 각각의 부프로그램에 대한 역할 및 설명은 Table-2에서 제시한 바와 같다.

模型으로의 入力資料는 크게 나누어 流域파라메타, 節點 降水量, 週間平均蒸發量, 週間平均氣溫 등이다. 流域파라메타는 地形, 土壤, 地帶, 追跡, cascading순서, 土地利用 등 流域에서 일어나는 여러가지 水文現象에 큰 영향을 미치는 자료이다. 대부분의 파라메타는 地形圖, 土壤圖, 土壤統說明書, 植生 및 農業調查 등으로부터 얻을 수 있으나 이와같이 직접 얻을 수 없는 파라메타는 보정과정을 통하여 얻어야 한다. 본 모형의 측정파라메타는 약 43개, 보정파라메타는 4개정도이다. 각 파라메타에 대한 자세한 說明과 決定方法은 USDAHL-74 模型의 使用者 說明書¹⁴⁾에 상세히 기술되어 있다.

模型으로부터 出力되는 資料는 13가지의 각 종 水文量이 있으며 매 실행시마다 항상 出力되는 표준出力은 降雨量, 蒸發散量, 蒸發量과 流出量의 月, 年 合計이고 대부분의 日單位 水文量 情報는 임의선택되도록 되어있다. 또한 流域全體에 대한 값과 地帶別 값을 區分하여 出力시키도록 되어 있다. 暴雨 水文曲線은 入力資料로서 원하

는 날짜를 入力하기만 하면 그 날짜에 해당되는 水文曲線에 대한 자료가 출력된다.^{14, 15)}

3. 模型의 理論的 背景

模型의 降雨資料는 流域을 代表할 수 있도록 調定된 降雨와 降雪로 人力되어, 降雪量은 降雨와 구분되도록 하여 다음 (1)식에 의하여 日 融雪量으로 計算되어 降雨量으로 치환된다.

$$\text{MELT} = C \cdot (T - \text{THAW}) \cdot (1.0 - 0.5 \times \text{VEG}) + 2P \quad \dots \dots \dots (1)$$

여기서 MELT = 地表面에서의 日 融雪量(mm)

T = 週間 average氣溫(°C)

THAW = 融雪이 시작되는 温度(°C)

VEG = 植生密度의 加重平均值

P = 日 降雨量(mm)

C = 係數

模型에서의 潜在蒸發散量은 計器蒸發量(Class A pan), 植生被覆의 成長, 土壤의 貯溜能등의 線型函數로써 다음 (2)式과 같이 나타내 진다.

$$ET = GI \cdot K \cdot P \cdot \{(S - SA) / AWC\}^x \quad \dots \dots \dots (2)$$

여기서 ET = 潜在蒸發散量(mm/day)

GI = 作物 또는 植生의 成長指數(%)

S = 土壤의 全 空隙率

SA = 土壤의 可用空隙率

K = GI/計器蒸發量(mm/day)

AWC = 蒸發散에 依해 排水可能한 空隙率

x = AWC/G

한편 地表面에서의 浸透能은 (3)式과 같은 Holton式에 의해 計算되나, (3)式의 a에 對한 季節의 變化要因으로서 GI를 適用하여 (4)式으로써 浸透能을 計算한다.

$$f = a \cdot S_a^{1.4} + f_c \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$f = GI \cdot a \cdot S_a^{1.4} + f_c \quad \dots \dots \dots (4)$$

여기서 f = 浸透能(mm/hr)

a = 地表面空隙率 指數

S_a = 表土의 有效空隙量(mm)

f_c = 最終浸透能

浸透量을 초과하는 降雨는 地表流出로써 나타나며, 地表流를 連續方程式으로 나타내면 다음의 (5)式과 같다.

$$q_o = ova \cdot D^n \quad \dots \dots \dots (5)$$

여기서 q_o = 地表流(mm/hr)

n = 흐름의 상태에 따른 係數

ova = 粗度, 傾斜長 및 傾斜度에 따른 係數

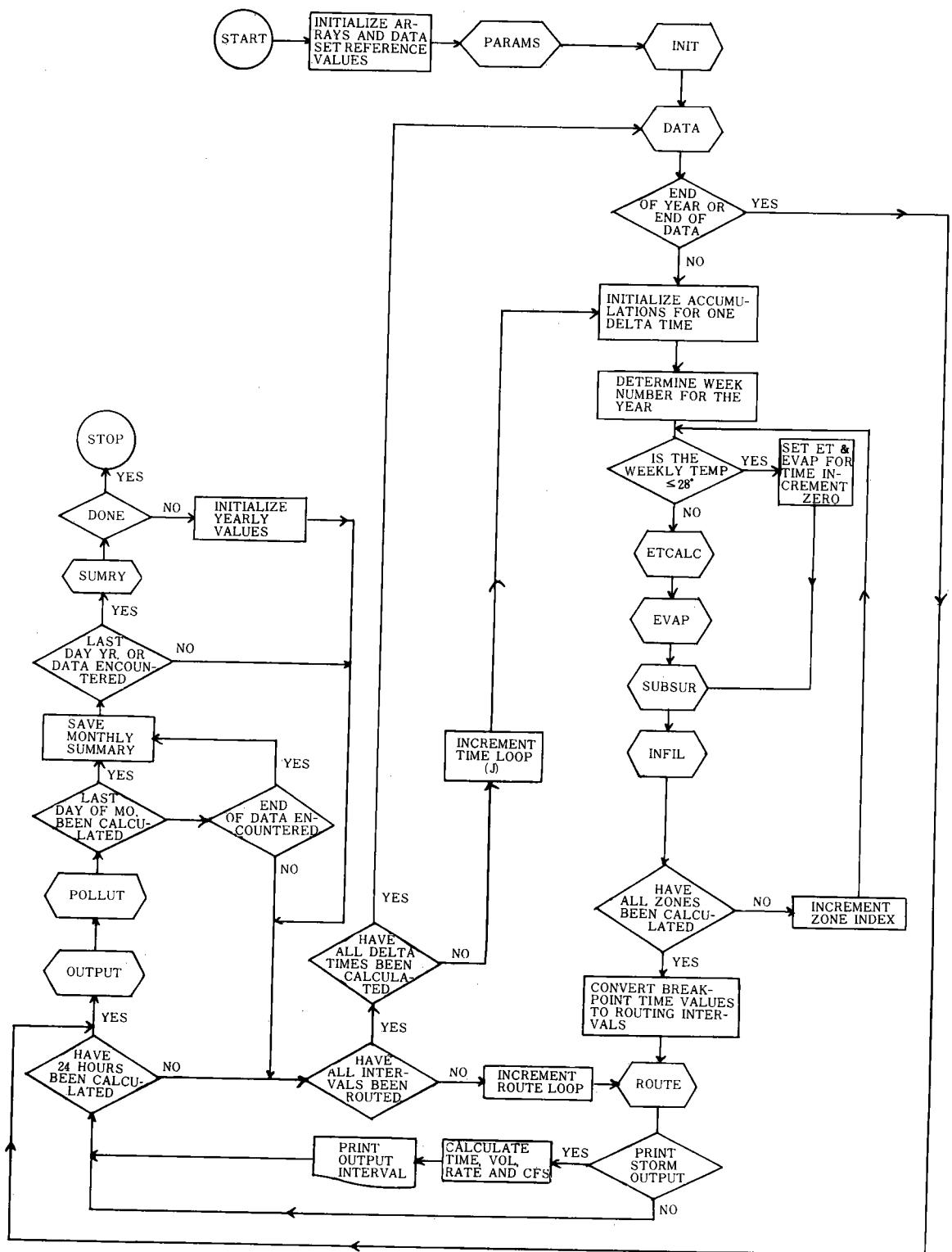


Fig. 2. Flow Chart of USDAHL-74 Model

河川流出과 基低流出은 地表流에 대한 連續方
程式과 土壤의 貯溜方程式을 연립하여 계산한다.
貯溜方程式은 (6)式과 같다.

여기서 m_c 는 河川流出의 減退曲線係數로 써 流域의 洪水 水文曲線을 分析하여 얻는다.

土壤 내에 浸透된 물은 蒸發散, 重力水 縱方向
浸潤 및 側方流 등으로 分配된다. 模型에서는 土
壤을 여러개의 土層間의水分이동을 (7)식에
해 計算하였다.

여기서 SUBPUT= 다음 층으로 침윤되는 양

L = 토층

t = 時間 増分

C = 최대공극률

G = 重力水 貯溜能

IV. 流出解析 및 考察

1. 파라메타 補正

USDAHL-74模型을 주어진流域에 적용하기 위해서는 우선 모형의 각종 파라메타값을 결정하고 그다음 補正過程을 통하여 그 값을 확정하여야 한다. 補正이란 實測 및 模擬發生 流出量 사이의 차이를 없애는 方向으로 처음에 가정한 각종 파라메타 값을 변화시켜 그 값을 결정하는 節次를 말한다.

前述한 바와같이 USDAHL-74模型에서 사용

된 한 가지 중요한 개념은 地帶區分이다. 즉 流域의 流出量 發生에 영향을 미치는 流域파라메타 값이 한 地帶內에서 均一하게 되도록 流域을 소위 水文學的 同質性을 가지는 面積으로 分割하는 것을 말한다. 본 研究에서는 地形圖, 土壤統圖, 土地利用圖등을 이용하여 傾斜度, 土壤, 植生을 고려한 4 個의 地帶로 구분하였다. Fig. 3 은 地帶區分의 内容을 나타내주고 있다.

USDAHL-74模型의 파라메타는 비록 그 數가 많기는 하나 대부분 기준자료로 부터 얻어질

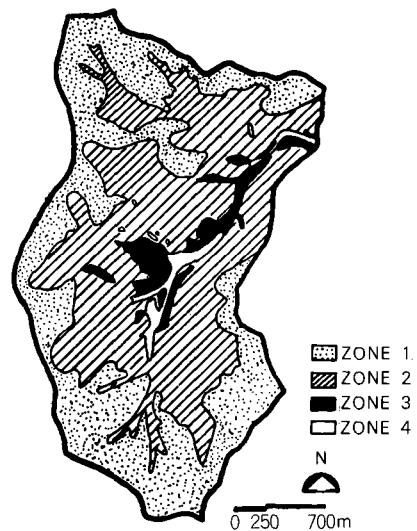


Fig. 3. Hydrologic zones of Dochuk Watershed

Table 3. Watershed and soil parameters for Dochuk Watershed

para- meter	description	unit	zone zone			
			1	2	3	4
PCZON	percent area of a zone	%	44.0	39.5	11.2	5.3
SL	slope of a zone in percent	%	51.0	28.6	21.0	12.0
OVL	overland flow length of a zone	m	177.0	169.0	174.0	114.0
FC	final rate of infiltration after prolonged wetting	mm/hr	12.0	6.0	6.0	6.0
TOPD	depth of top soil	mm	150	150	150	200
SOILD	depth of aerated soil	mm	500	700	700	1500
G1	storage drained by gravity (top soil)	%	29.2	29.2	29.2	29.2
G2	" (deep soil)	%	29.2	15.3	15.3	29.2
AWC1	storage drained by evapotranspiration (top soil)	%	15.3	15.3	15.3	15.3
AWC2	" (deep soil)	%	15.3	24.1	24.1	15.3
CVOL1	maximum volume of cracking (top soil)	%	0.0	0.0	0.0	0.0
CVOL2	" (deep soil)	%	0.0	0.0	0.0	0.0
WPP1	wilting point of layer 1	%	7.6	7.6	7.6	7.6
WPP2	" 2	%	7.6	12.7	12.7	7.6

Table-4. Routing parameters for Dochuk Watershed

para-meter	description	unit	regime			
			1	2	3	4
QMAX	maximum rate of lateral outflow from a zone flow regime	mm/hr	2.850	0.525	0.345	0.064
M	flow regime routing coefficient	hr	20	75	120	850
CM	channel routing coefficient	hr			6.86	

Table-5. Cascading parameters for Dochuk Watershed

para-meter	description	unit	zone			
			1	2	3	4
PCAS	percent of overland flow which cascades the succeeding zone	%	100.0	52.9	47.5	-
LOC	direction of flow that does not cascade sequentially but goes to alluvium or channel	-	-	-	ALLU CHAN	-
PBAS	percent subsurface flow from zones above alluvium	%			70.0	

수 있는 것이고 補正을 통하여 얻어야 하는 파라메타의 수는 제한되어 있다. Table-3, Table-4, Table-5는 측정파라메타로서 유역 및 토양파라메타, 추적파라메타, cascading파라메타를 나타낸 것이다.

그러나 土地利用파라메타는 작물의 생리등과 같이 측정이 불가능하여 定量的으로 나타내기 어려우므로 補正파라메타를 다소 포함하고 있다. 본 연구에서 채택한 補正파라메타는 지하수 촉진(GR), 蒸發散 上限溫度(TU), 蒸發散比(ETE P), 용설온도(THAW) 등으로서 이들은 模擬發生 初期에 가정한 값으로부터 계속 그 값을 變動시키면서 流出量을 模擬發生시키는 과정에서

實測流出量과 模擬發生流出量사이의 差異가 가장 적은 파라메타값의 組合을 선택하여 最終파라메타값으로 결정하였으며 Table-6은 補正된 土地利用 파라메타의 값을 나타내고 있다.

補正의 순서는 전체적으로 보아 먼저 月, 年別 流出量을 一致시키고 그 다음 水文曲線의 모양을 一致시키고자 하였다. 補正作業에서 한가지 주의할 사항은 먼저 全期間의 유출체적을 일치시켜 놓았다 할지라도 模型内部에서 각종 파라메타가 상호 연결되어 있으므로 나중의 水文曲線에 대한 補正후 다시 變動될 가능성이 있으므로 最終의 補正이 필요하다는 것이다.

USDAHL-74 模型의 補正에 있어서 특기할 사

Table-6. Land use parameters for Dochuk Watershed

para-meter	description	unit	crops							
			RICE	CORN	PASTURE	JAPOAK	PINENUT	PINE	OAK	PAULOWSE
A	basal area of vegetation used as an index of surface connected porosity	-	0.8	0.2	0.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
VD	depression storage	mm	30.0	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
ETEP	ratio of maximum ET to maximum EP for a crop	-	0.58	0.54	0.50	0.90	0.81	0.72	0.90	0.72
ROOTD	depth of root for crops	mm	400	300	500	700	800	1000	1500	1000
TU	upper limit of cardinal temperature	℃	14.85	15.75	13.50	15.75	15.75	16.65	18.0	18.0
TL	lower limit of cardinal temperature	℃	10.0	10.0	10.0	5.0	0.0	0.0	5.0	5.0
THAW	temperature at which snowmelts begin	℃						-2℃		
GR	flow rate of ground water recharge	mm/hr						0.0		

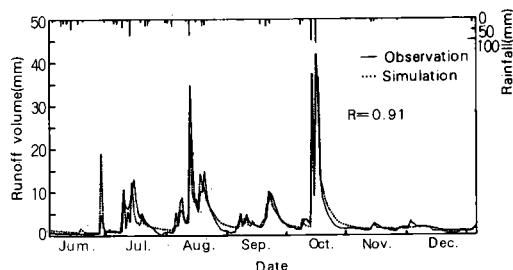


Fig. 4. Comparison between observed and simulated daily runoff for the Calibration period(Jul. 1~Dec. 31, 1985)

항은 模型의 大部分 파라메타가 物理的 意味를 가지고 있으므로 地形圖, 土壤圖, 地質圖, 土壤統說明書등 기준자료로 부터 얻을 수 있다는 것과 모형내부의 計算過程이 地表 및 土壤內의 물 移動에 대한 複雜한 物理的 과정으로 구성되어 있으므로 어느 한 特定 파라메타의 流域 물收支에 미치는 영향이 크지 않아서 본 模型의 파라메타가 安定化되어 있다는 사실이다.

流域水文模型의 補正은 모형내부의 계산과정이 완전히 이해되어야 하고, 初期값의 결정이 중요하며 많은 경험을 필요로 하고 試行錯誤法이므로 시간이 오래 걸리는 등 어려운 작업이지만 일단 어느 한 流域에서의 파라메타값이 결정되면 流域의 특성이 근본적으로 변화하지 않는 한 常數값이 되므로 降水量, 平均氣溫, 平均蒸發量의 자료만으로도 時間단위의 水文曲線은 물론 日 또는 月 單位의 長期流出量도 模擬發生시킬 수 있게 된다.

以上과 같은 補正의 결과 最終 확정된 파라메타와 1985년 6월 1일~1985년 12월 31일 사이의 節點降雨量, 週間平均日氣溫, 週間平均日蒸發量

자료를 입력하여 얻은 模擬發生 日流出體積과 實測된 日流出體積을 비교한 것이 Fig.4이며 Table 7은 月別 流出體積의 比較를 나타낸 것이다.

補正期間동안의 實測 유출체적은 모두 707.7mm로서 補正된 파라메타를 이용한 模型의 模擬發生 流出體積 712.2mm와는 約 0.63%의 誤差로서 거의一致하고 있다.

한편 日流出體積에 대한 實測 및 模型發生 값을 比較하면 視角의 으로도 尖頭流量 몇개소와 일부 감퇴곡선의 하강부를 제외하고는 거의一致되는 경향을 나타내고 있다. 이러한 경향을 統計的 으로 比較하였던바 實測 日流出體積과 模擬日流出體積사이의 상관계수가 0.91로서 양자간 아주 높은 상관을 나타내고 있어 流域파라메타의 값은 適正한 것으로 판단된다.

2. 模型의 檢定 및 適用性 檢討

模型의 檢定이란 파라메타 補正過程을 통하여 결정된 入力파라메타 값을 變動시키지 않고 보정에 사용되지 않았던 年度의 水文氣象資料를 模型에 入力하여 流出事象을 模擬發生시키고 그것을 實測流出量 값을 比較하여 一致程度를 檢討하므로서 模型의 流出量豫測能力을 판단하는 것을 말한다.

본 研究에서 模型의 檢定에 사용된 데이타는 1986년 1個年の 資料였다.

Fig.5는 長期流出에 대한 USDAHL-74模型의 流出模擬發生能力을 檢討하기 위해서 1986년 全檢定期間동안의 實測 日流出體積과 模擬發生 日流出體積을 강우량과 함께 plot한 것이다. 우선 시각적으로 살펴보면 補正과정에서와 마찬가지로 兩 日流出體積사이에 거의一致되는 경향을 가지고 있음을 알 수 있고 이것은 日流出體積間

Table-7. Monthly summary and statistical result of calibration test for Dochuk Watershed(1985)

month	rain+melt (mm)	ET (mm)	EVAP (mm)	observed runoff (mm)	simulated runoff (mm)	absolute error (mm)	relative error (%)
6	97.1	66.7	1.4	22.9	25.6	2.8	12.1
7	169.0	43.6	2.6	102.3	79.7	-22.6	-22.0
8	249.9	41.9	8.2	183.0	186.8	3.8	2.1
9	158.7	45.8	2.0	110.8	110.2	-0.6	-0.5
10	257.8	33.7	4.4	200.0	228.3	28.3	14.2
11	87.3	9.2	2.5	49.4	47.5	-1.9	-3.9
12	38.0	5.0	1.6	39.4	3.40	-5.3	-13.6
Total	1057.8	245.8	22.6	707.7	712.2	4.5	-0.6

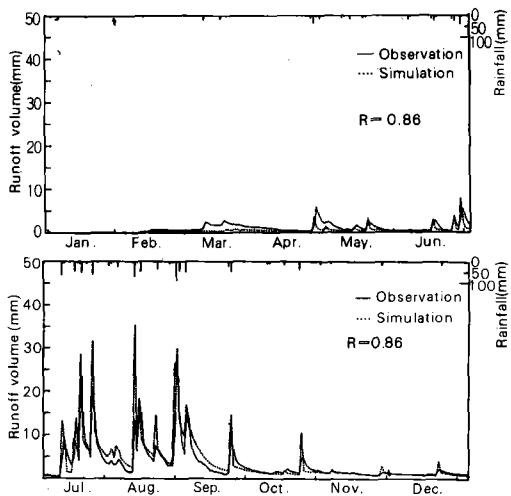


Fig. 5. Comparison between observed and simulated daily runoff volume for the verification period(1986)

의 相關係係 $R=0.86$ 으로 보아서도 인정될 수 있어 USDAHL-74 模型의 長期流出 豫測能力은 優秀함을 알 수 있다.

그러나 實測日流出體積과 模擬發生日流出體積사이의 差異를 나타낸 원인을 살펴보면 첫째로 暴雨 水文曲線의 尖頭流出量을 實測값보다 약간 더 크게 模擬發生시키고 둘째로 冬解泳期(謁水期)間 實測값과 模擬發生 流出體積사이의 差異가 크며 마지막으로는 水文曲線의 감퇴부 하강곡선에서 양자간 차이가 생기는 것이 주요 원인으로

로 생각되었다.

특히 3월 말 ~ 4월 중旬期間에서는 降雨가 거의 없어서 模擬發生 流出體積은 아주 적은 값을 나타내고 있으나 實測流出體積은 계속 큰 값을 나타내고 있는데 이는 解泳에 의한 流出現象인 것으로 생각된다. 즉 본 模型의 보정기간이 冬季 및 解泳期를 포함하고 있지 않았으므로 이에 대한 補正을 完全히 하지 못하였던 것이 檢定期間동안의 日流出體積에 대한 相關關係가 낮아진 主原因으로 생각되었다. 따라서 長期流出에 대한 본 模型의 流出量豫測能力을 더욱 높이기 위해서는 앞으로 더욱 많은 데이타가 접적되는 대로 暴雨別 水文曲線의 一致를 위한 파라메타 補正을 再檢討하고 필요하다면 模型의 構造改善도 시도되어야 할것이다. 뿐만아니라 결빙토양 및 解泳과정에 대한 研究가 필요할 것으로 사료된다.

Table-8은 實測值 및 模擬發生值間의 月別 및 年間 量收支 상황을 나타내주고 있는데 年間總流出量은 實測值 830.0mm, 模擬發生值 803.5mm로서 그 차이는 -26.5mm(상대오차 3.2%)에 불과하나 月別로 그 값을 살펴보면 3, 4, 5월에서 큰 차이를 나타내고 있으며 이에 대한 이유는 日流出體積比較에서 언급한바와 같다. 그러나 6 ~ 12月사이에서는 月별로 상대오차 20% 이하의 적은 차이를 나타내고 있다. 이상의 결과로 보아서 USDAHL-74 流域水文模型은 우리나라 山地流域에 대한 模擬發生 電算模型으로서 流出의豫測能力이 상당히 우수함을 알 수 있다. 또한

Table-8. Monthly summary and statistical result of verification test for Dochuk Watershed(1986)

month	rain+ melt (mm)	ET (mm)	EVAP (mm)	ovserved runoff (mm)	simulated runoff (mm)	absolute error (mm)	relative error (%)
1	0.0	1.5	0.0	1.4	1.3	- 0.2	-10.7
2	30.9	7.0	0.1	8.8	5.8	- 3.0	-34.2
3	45.3	19.0	1.2	45.4	13.8	- 31.6	-69.7
4	56.9	12.1	0.3	32.0	16.2	- 15.8	-49.3
5	77.6	88.2	0.5	34.1	18.4	- 15.8	-46.2
6	131.7	61.4	1.3	33.1	26.6	- 6.4	-19.5
7	307.2	39.3	4.2	190.1	188.1	- 2.0	- 1.1
8	350.6	50.6	10.4	225.3	257.7	32.5	14.4
9	129.1	56.4	5.7	122.5	151.1	28.6	23.3
10	85.0	22.9	0.6	59.9	52.7	- 7.2	-12.0
11	34.2	5.7	0.2	39.0	38.1	- 0.9	- 2.2
12	27.7	3.0	0.1	38.4	33.7	- 4.6	-12.1
Total	1276.2	407.1	24.6	830.0	803.5	- 26.5	- 3.2

본 模型은 補正파라메타의 수가 적으며 대부분의 파라메타가 測定可能한 物理的性質을 지니고 있으므로 본 模型에 대한 운용경험만 축적된다면 앞으로 農業用水開發事業의 설계 및 유지관리에 대한 水文分析에 이용될 수 있음이 판명되었다.

그러나 본 模型을 末計測流域의 流出量豫測에도 본격적으로 이용하려면 流域의 특성이 서로 다른 여러개소의 代表試驗流域에 대하여 適用試驗을 실시하여 補正파라메타와 流域特性과의 關係가 定立되어야 할것이며 이것은 앞으로의 研究課題이다.

V. 結論

電算機를 이용한 確定論的 凡用流域水文模型은 그의 精密性과 폭 넓은 利用性 때문에 세계각국에서 다투어 이를 開發하거나, 開發된 模型을 適用하기 위한 각종연구가 진행중에 있다.

본 研究는 USDAHL-74模型을 韓國의 水文氣象조건 및 유역특성에 알맞도록 일부 改訂하고 2個年間 都尺代表試驗流域에서 얻은 각종 水文氣象資料를 이용하여 入力파라메타를 補正하고 模型의 流出豫測能力을 檢定하여 우리나라 山地流域에서의 적용성을 檢討한 것으로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. USDAHL-74 流域水文模型은 農業小流域에서의 모든 水文循環過程을 망라한 確定論的, 分散形, 連續模擬發生 電算模型으로서, 획득되는 水文量도 각종 時間單位의 流出量뿐 아니라 空間的變異에 따른 流出量도 파악될 수 있으며 土壤水分까지도 模擬發生시키는 凡用流域水文電算模型이므로 活用範圍가 아주 크다는 사실이 밝혀졌다.

2. 都尺代表試驗流域에서 1985년도에 實測된 流出量, 降水量, 平均氣溫, 平均蒸發散量 자료와 流域의 土壤, 地形, 植生 자료를 이용하여 USDAHL-74 模型의 파라메타를 결정하고 補正하였다. 補正 全期間의 實測 日流出體積과 模擬發生 日流出體積 사이의 相關關係는 $R = 0.91$ 로서 高度의 유의성을 나타내고 있다.

3. 1985년 데이타로 補正된 파라메타를 변경하지 않고 그대로 1986년 데이타에 入力하여 1986年 1年間의 日流出體積을 모의발생시킨 결과 난간 實測 總流出體積은 830.0mm, 模擬發生값은

803.5mm로서 거의一致되었고 日流出體積에 대한 양자간의 相關係數도 0.86으로서 USDAHL-74 模型이 우리나라 山地流域의 長期流出 模擬發生능력이 우수하다고 판단되었으나 앞으로 유출자료가 누적되는데로 보다 장기적인 기간에 대해 검토할 필요가 있을 것으로 사료되었다.

4. 模型의 檢定過程에서 나타난 實測日流出體積과 模擬發生日流出體積사이의 차이는 模型이 暴雨 尖頭流出量을 약간 과도하게 算定하였고, 水文曲線의 감퇴부가 일치되지 않았는데 이는 결빙토양 및 해빙과정에 대한 模擬發生이 미흡한 것에 그 原因이 있는 것으로 사료된다. 앞으로 이 方向의 研究와 模型構造의 改善이 요구된다.

5. 本 模型은 구성파라메타가 物理的 特性을 지니고 있으며 大部分 測定可能한 것이므로 流出量 末計測流域의 水文量 模擬發生에 유리할 것으로 생각되나 앞으로 미계측유역에 본격적으로 이용하기 위해서는 補正파라메타의 常數化를 위한 연구가 요청된다.

參 考 文 獻

- ASAE. 1982. Hydrologic Modeling of Small Watersheds, Monograph No.5 of ASAE, pp. 417-420.
- Bengtson, R. L., F. R. Crow, and A. D. Nicks. 1980. Calibrating the USDAHL Hydrologic Model on Grassland Watershed, ASAE paper No.79-2039.
- Bloomfield, P. H., D. H. Pilgrim, and K. K. Watson. 1981. The Infiltration-Soil Water Storge Relationship at a Point in Watershed Modeling, Water Resources Research 17(2), pp.370-376.
- Comer, G. H and W. H. Henson. 1976. An Optimization technique Adapted to USDAHL-74 Revised Model of Watershed Hydrology, Water Resources Bulletin 12(1), pp. 139-146.
- Crow, F. R., W. O. Ree, S. B. Loesch, and M. D. Paine. 1977. Evaluating Components of the USDAHL Hydrology Model Applied to Grassland Watersheds, Trans. of ASAE 20(4), pp.692-696.

6. Crow, F. R., T. Ghermazien, and R. L. Bengtson. 1980. Application of the US-DAHL-74 Hydrology Model to Grassland Watershed ASAE Paper No.78~2066.
7. England C. B and H. N. Holtan. 1969. Geomorphic Grouping of Soils in Watershed Engineering, Jour. Hydrology 7, pp.217~25.
8. England C. B. 1975a. Soil Moisture Accounting Component of the USDAHL-74 Model of Watershed Hydrology, Water Resources Bulletin 11(3), pp.559~569.
9. England C. B. 1975b. Root Depth as a Sensitive Parameter in a Deterministic Model, Water Resources Bulletin 11(5), pp. 1046~1051.
10. England C. B. 1977. Modeling Soil Water Hydrology Under a Post Oak (*Quercus Stellata Wangenh*) Shortleaf Pine (*Pinus Echinata Mill*) Stand in East Texas, Water Resource Research 13(3), pp.683~686.
11. Fisher, G. T., J. E. Ayars, H. N. Holtan, and D. L. Nelson. 1979. USDAHL-74 Model as a Planning Tool, ASAE Paper No.77~4 045.
12. Hanson, C. L. 1977. Evaluation of the Components of the USDAHL-74 Model of Watershed Hydrology, ASAE Paper No.77~2 533.
13. Holtan, H. N and N. C. Lopez. 1971. USDAHL-74 Model of Watershed Hydrology, Technical Bulletin No.1435, USDA ARS.
14. Holtan, H. N., G. J. Stiltner, W. H. Henson, and N. C. Lopez. 1975. USDAHL-74 Revised Model of Watershed Hydrology. Technical Bulletin No.1518, USDA, ARS.
15. Holtan, H. N and M. Yaramanoglu. 1977 . A User's Manual for the University of Maryland Version of the U.S. Department of Agriculture Hydrograph Laboratory Model of Watershed Hydrology, Miscellaneous Publication No.918, The Maryland Agricultural Experiment Station.
16. Langford K. H. and J. L. McGuinness. 1976. A Comparison of Modeling and Statistical Evaluation of Hydrologic Change, Water Resources Research 12(6), pp.1322~1324.
17. Langford K. H and J. L. McGuinness. 1976. Using a Mathematical Model to Assess the Hydrologic Effects of Land-Use Change, ARS-NC-31, USDA.
18. Molnau, M. and K. H. Yoo. 1977. Application of Runoff Models to Palouse Watershed, ASAE Paper No.77~2048.
19. Pathak, C. S., T. Ghermien, and F. R. Crow. 1983. The Effect of Land Use Parameters on Runoff Simulation by USDAHL Hydrology Model, Trans. of ASAE 26(1), pp.148~152.
20. Pathak, C. S., F. R. Crow, and R. L. Bengtson. 1984. Comparative Performance of Two Runoff Models of Grassland Watershed, Trans. of ASAE 27(2), pp.397~406.
21. USDA,SCS. 1964. Hydrology. SCS National Engineering Handbook, Sect. 4, ch. 1~10, 17, 21.
22. 權純國, 高德九, 吳壽勲. 1985. 流出量推定電算模型開發, 서울大 農大 農業開發研究所報告, 農水產部, 農振公.
23. 權純國, 高德九, 李相萬. 1986. 流出量推定電算模型開發(II), 서울大 農大 農業開發研究所報告, 農水產部, 農振公.
24. 農村振興廳. 1972. 精密土壤統 設明書.