Interactive Program에 의한 小流域의 流出量 算定

안 상진* 김 종섭** 김 응용*** 한 양수****

1. 序 論

最近에 미계측 流域에서의 流出解析을 위하여 流域의 地形學的 因子를 고려한 確率論的 모델의 開發이 대두됨으로써 降雨-流出 모형의 媒介變數들 사이에 물리적 特性들이 流出 解析에 중요한 부분을 차지하고 있다.

本 硏究에서는 Rodriguez-Iturbe와 Valdes[1]의 地形學的 瞬間單位圖 基本모형을 토대로 Allarm[2]이 수정하여 開發한 모형을 適用한 것으로서, Philips의 浸透理論 및 Markov의 確率과정을 導入하여 각 상태에서의 Laplce變換과 回旋積分[2]으로 瞬間單位圖를 誘導하여 有效雨量에 따른 洪水量과 수문곡선을 展開시킨 相互作用 프로그램을 적용시켰다.

本 硏究의 目的은 河川幅, 河床狀態 및 粗度등의 水理的 條件이 未計測되고, 또한 水文資料가 결핍된 中, 小河川 流域에서 地形圖와 氣象資料를 이용하여 流域의 洪水 流出量을 豫測할 수 있는 方法을 提示하는데 있다.

2. 基 本 理 論

地形學的 瞬間單位圖(GIUH)의 確率論的 解析과 流域內에서 任意의 地點에 내린 降雨는 많은 流出經路를 따라 유역의 出口에 到達하는 시간의 GIUH函數[1,2,3] h(t)는 式(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$h(t) = f_{T_T}(t) = \sum_{s \in S_T} f_{T_s}(t)\, P(S_T) \qquad (1)$$

---

*忠北大學校 工科大學 土木工學科 敎授
**忠北大學校 工科大學 土木工學科 講師 · 大學院 博士過程
***忠北大學校 大學院 土木工學科 碩士過程 卒業
****忠北大學校 大學院 土木工學科 碩士過程

여기서, T_r : 流域의 出口로 移動하는 時間

$f_{T_r}(t)$; T_r 의 確率密度函數

T_s ; 經路 s 를 통해서 到達되는 時間

$P(S_T)$; 降雨가 s經路를 따라 通過할 確率

$f_{T_s}(t)$; T_s의 確率密度函數

S_T ; 流出 經路의 總集合

Rodriguez - Iturbe 와 Valdes[4]는 河川內 도달시간의 確率密度函數를 式 (2)와 같이 提案 했다.

$$f_{T(i)}(t) = \lambda_i e^{-\lambda_i t} \tag{2}$$

여기서, $\lambda_i = V/L_i$

V ; 河川의 平均 流出速度, L_i ; i次 河川의 平均 길이

浸透量을 推定하는 方法으로 Philip 은 浸透損失을 式 (3)과 같이 표현하였다.

$$f_i^*(t) = \frac{1}{2} S_i t^{-1/2} + Ao \tag{3}$$

여기서, f_i ; 포텐셜 浸透率〈토양표면이 포화되었을때〉 LT^{-1}

S_i ; 浸透 Sorptivity $LT^{-1/2}$

A_o ; 水位 影響에 의해 計算되는 重力 浸透率 LT^{-1}

降雨強度 I(t) 는 豪雨初期의 포텐셜 浸透率 $f_i'(t)$ 은 항상 降雨強度를 超過한다.

表面土壤水分은 그 값이 式(4)에 의하여 구한 飽和된 값보다 작은값으로 조절한다.

$$f_i(t) = I(t), \qquad f_i(t) < f_i'(t) \tag{4}$$

시간 t_o에서 두개의 條件을 사용한다.

첫째 條件은 初期降雨로 부터 t_o 까지 浸透된 流量깊이(또는 ts로부터 이동된 곡선)이다. 이것은 시간 t_o까지 降雨量과 같고 또한 식(5)으로 표현할 수 있다.

$$\int_0^t I(t)dt = \int_{t_s}^{t_o} f_i^*(t)dt \tag{5}$$

두번째 條件은 時間 t_o 에서 浸透率이 降雨強度와 같아지는 條件 즉 식(6)으로 된다.

$$I(t_0) = \frac{1}{2} S_i^{-1/2} + A_0 \qquad (6)$$

실제적으로 전세계의 대부분의 流域은 산지지형이다. 地表水 흐름 狀態는 여기서는 산지에서 發生하는것으로 간주한다.

산지지역에서는 갈라진 틈을 통하여 물이 浸透되는 것이 存在한다. 그러나 Philip 공식에서는 이러한 形態의 浸透過程을 적용시킬수 없으므로, 산지유역의 유출계수가 가정된다. 수심은 식 (7)으로 계산된다.

$$Md(t) = \alpha \frac{A_m}{A_a} I(t) \qquad (7)$$

α ; 산지 지역의 流出係數 〔無次元量〕

A_m ; 流域의 山地面積 L^2

A_a ; 流域의 沖積層面積 L^2

지형학적 순간단위도와 有效雨量을 계산하기 위해서 表面流出流量은 回線 變換에 의해 式(8) 같이 계산된다.

$$Q(t) = A_\Omega \int_0^t I_e(\tau) h(t-\tau) dz \qquad (8)$$

여기서, $Q(t)$; 시간 t에서 表面 流出量

τ ; 降雨持續期間 보다 작은 任意의 時間

$I_e(\tau)$; 時間에서의 有效降雨 強度

$h(t-\tau)$;시간 $t-\tau$ 에서 GIUH 종거

A_Ω ; Ω 河川의 面積

3. Interactive Program의 電算알고리즘

流量 水文曲線의 計算을 위한 電算 알고리즘은 Fig. 1과 같이 構成 하였다.

4. 資料의 分析

本 硏究의 對象流域은 IHP 代表試驗流域인 錦江水系의 報靑川 流域을 대상으로 選定하였고 對象流域에는 自記雨量觀測所 12個, 自記水位標地點 5個가 있다. 本 硏究의 Interactive Program 은 5

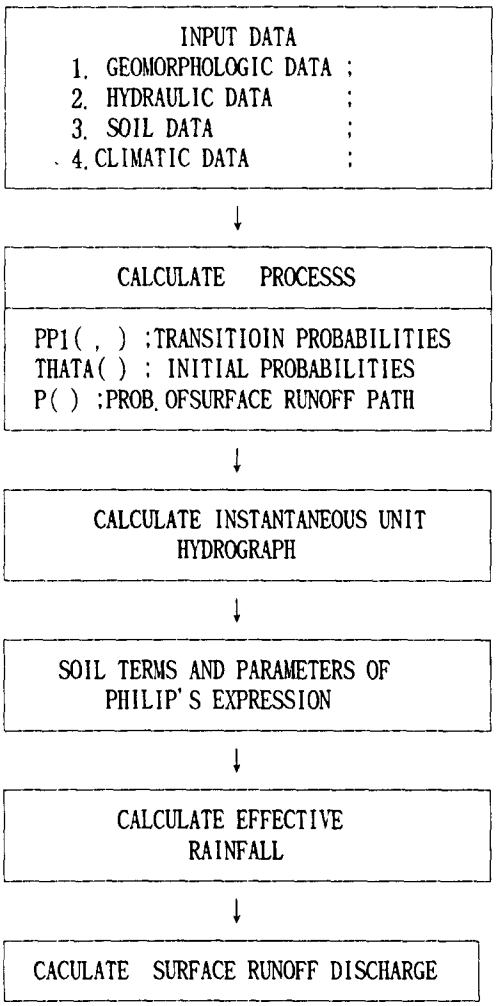


Fig. 1 The formualation of computational algorithims for runoff estimation

次河川 이하의 小河川流域에만 적용되는 것이므로 對象流域은 報青川流域中에 가장 上流 水位標地點인 山城(No. 5)을 채택하였다. 本 硏究에 適用한 資料는 單位圖에 큰 影響을 미치는 地形學的 資料와 土壤資料 그리고 水理學的 資料 및 氣候學的 資料를 구분하여 分析을 하였다.

채택된 流域은 報青川 流域에 있어서 5個의 自記水位 觀測所가 위치한 地點중 가장 上流地點인 山城地點을 流出口로 하여 流域을 다시 分割하였으며, 분할된지역의 流域面積은 53.7 km^2이었다. 또한 選定된 流域에대한 本流의 河川延長은 15.73km이고, 平均河川傾斜는 0.0095이다.

流域의 地相因子는 1:50,000地形圖를 이용하여 Horton과 Strahler의 河川分類및 次數法則에 따라 河川을 分類하였고 次數別 河川數와 河川傾斜를 구하고 流域의 總面積과 각 次數別 流域面積, 河川길이는 求積器 및 求長器로 구하였으며 그 결과는 Table 1와 같다.

Table 1 Geomorphologic data for each order

Factor / St.	order	Number of stream	mean stream Length (km)	mean stream slope (m/m)	mean Area (km^2)	Total Area (km^2)	Main stream length (km)
San seong	1	53	0.752	0.0789	0.512	53.703	15.73
	2	12	1.319	0.0240	0.944		
	3	4	2.294	0.0076	1.332		
	4	1	6.451	0.0047	4.912		

Table 2 Solid data of San Seong station

factor / station	porosity of the soil of the soil		Saturated effective hydraulic conductividy (cm/sec)	depth to the graundwater table (m)	alluvium area (km^2)
	n	m			
San Seong	0.37	0.6024	0.056	2.77	13.919

Table 3 Characteristics of the selected rainfall - runoff events

Item / Station	date	Rainfall Duration (hr)	Intensity (mm/hr)	Velocity of each order			
				1	2	3	4
San Seong (No. 5)	1990. 06. 19 05:00-23:00	T=18	5.32	1.398	1.094	0.860	0.553
	1990. 07. 14 06:00-22:00	T=15	5.19	1.398	1.094	0.860	0.553
	1990. 08. 20- 1990. 08. 21 15:00-13. 00	T=22	6.32	1.398	1.094	0.860	0.553
	1990. 08. 31- 1990. 09. 01 16:00-10:00	T=18	2.85	1.398	1.094	0.860	0.553

土壤資料는 國際水文開發計劃(IHP) 代表流域 調査報告書(1983)의 土壤圖 와美國 土壤 保存國(U. S. soild coservation servce;SCS)의 土壤의 種類와 植生의 被服, 土壤利用狀態를 定量的으로 표시하는 方法을 이용하여 沖積層 面積을 구하였고 有效空隙과 透水係數는 土壤의 種類別 대표값을 구하였으며, 그 結果는 Table 2과 같다.

水理學的 資料로써는 流速과 流出係數를 사용하였다.

未計測 河川의 流速은 Table 3 과 같다.

山地 地形의 流出係數는 IHP代表流域 硏究調査 報告書(1983)[5]에 있는 AMC별 流出水의 값을 사용하였으며 Table 4와 같다. .

Table 4 Runoff number CN at each AMC condition in San-seong station

condition / station	AMC-I	AMC-II	AMC-III
San Seong	48.1	68.1	84.1

氣候學的 資料는 降雨와 年平均日蒸發量이 使用되었으며 table 5에 整理하였다.

Table 5 Anual evaporation

(Unit: mm)

Yr. / St.	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	Average (cm/hr)
NO. 5	639.1	951.0	949.1	908.8	936.7	1113.0	790.9	613.5	0.0098

5. 適用 및 結果

本 硏究에서는 水文曲線 모의 발생이론을 바탕으로 開發된 Interactive Program[2]에 대하여 報靑川 流域의 資料를 利用하여 適用해 보았다. 對象流域의 流出資料는 實測된 1983 - 1991년(9년간)의 Rating-Curve에 의한 流出자료를 사용하였다.

本 硏究에서 Interactive Program에 이용된 降雨사상은 강우-유출관계가 명백하고 비교적 最近인 1990年도 豪雨중 4개를 채택하여 使用하였으며, 채택된 降雨의 特性은 Table 6과 같다. 本 對

象流域인 報靑川 流域은 集水地域이 70%이상 山地로 덮인 山地地域이며, 流出係數 α는 國際水文開發計劃(IHP) 硏究報告書(1983)의 資料와 SCS方法의 植生被服의 種類 및 土壤의 水文學的 條件으로부터 0.68의 값을 취하였다.

Interactive program의해 4개의 豪雨資料를 利用하여 계산한 降雨事像別 模擬 水文曲線과 實測水文曲線을 비교한 結果는 Fig. 2 (a, b, c, d)와같다.

Table 6 Mean rainfall and intensity of each the storm unit

Date	Mean Rainfall Intensity (mm/hr)	Rainfall(mm)
90. 6. 19. 05:00 - 23:00	5. 32	65. 17
7. 14. 06:00 - 22:00	5. 19	70. 4
8. 20. 15:00 - 21. 13:00	6. 32	139. 4
8. 31. 16:00 - 9. 1. 10:00	2. 85	37. 8

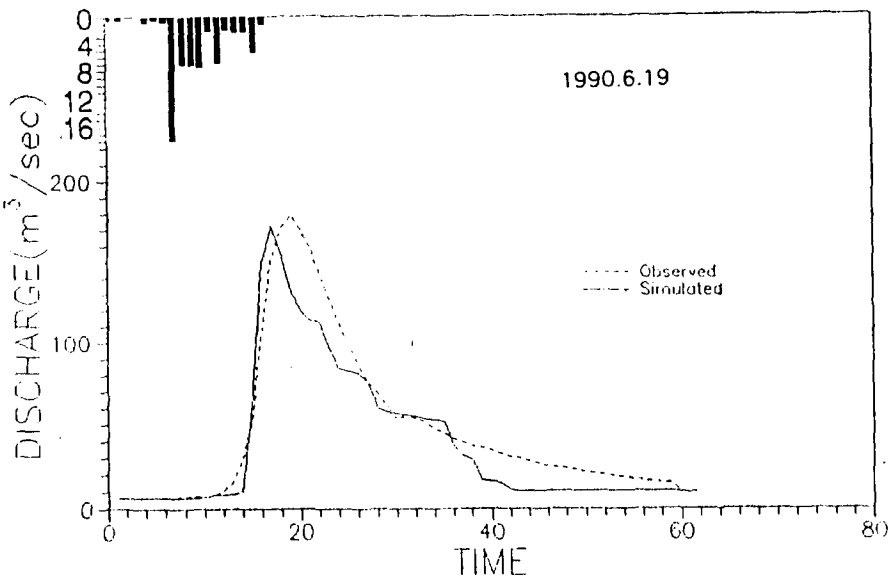
Table 7 에서 제시한 바와 같이 平均 流出速度로부터 구하여진 尖頭流量은 實測値와 模擬發生 分析値의 誤差들이 報靑川 山城地點에서는 '90. 6. 9일 降雨는 3. 98%, '90. 7. 14일 降雨는 3. 38%, 그리고 '90. 8. 31일 降雨는 4. 52%로 나타나 5%이내의 만족스러운 結果를 나타내었으나 '90. 8. 20일 降雨

Table 7 Simulation erros in the peak discharge and time to peak

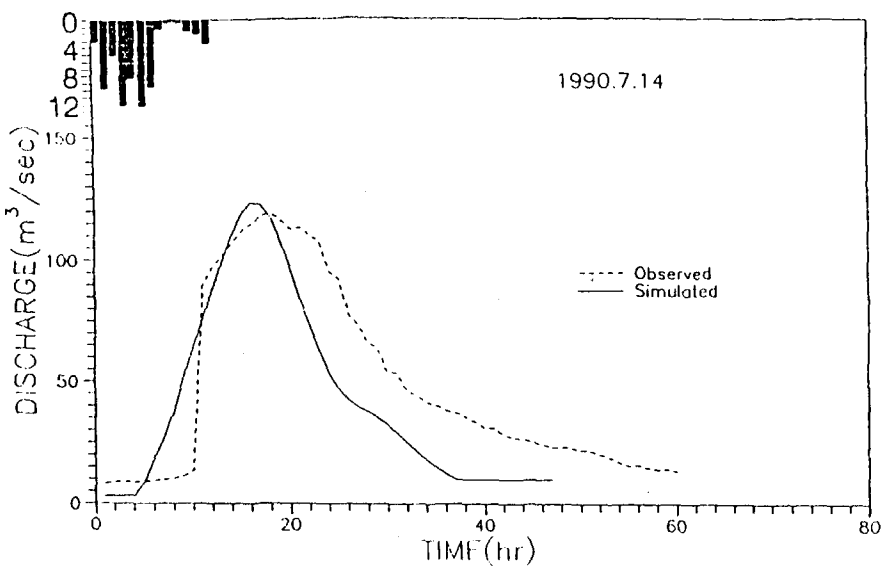
Date	observed values		Simulated values		simulation errors	
	Q_P^* (m^3/sec)	T_P^* (hr)	Q_P (m^3/sec)	T_P (hr)	$\frac{Q_P^*-Q_P}{Q_P^*}$ x100	$\frac{T_P^*-T_P}{T_P^*}$ x100
90. 6. 09	179. 73	19	172. 58	18	3. 978	5. 556
90. 7. 14	119. 70	22	123. 75	20	3. 383	9. 091
90. 8. 20	96. 10	16	104. 20	22	8. 429	27. 273
90. 8. 31	64. 81	13	61. 89	12	4. 508	8. 333
Average	-	-	-	-	5. 1	12. 6

事像에 대해서는 8.43%의 誤差를 나타내었다.

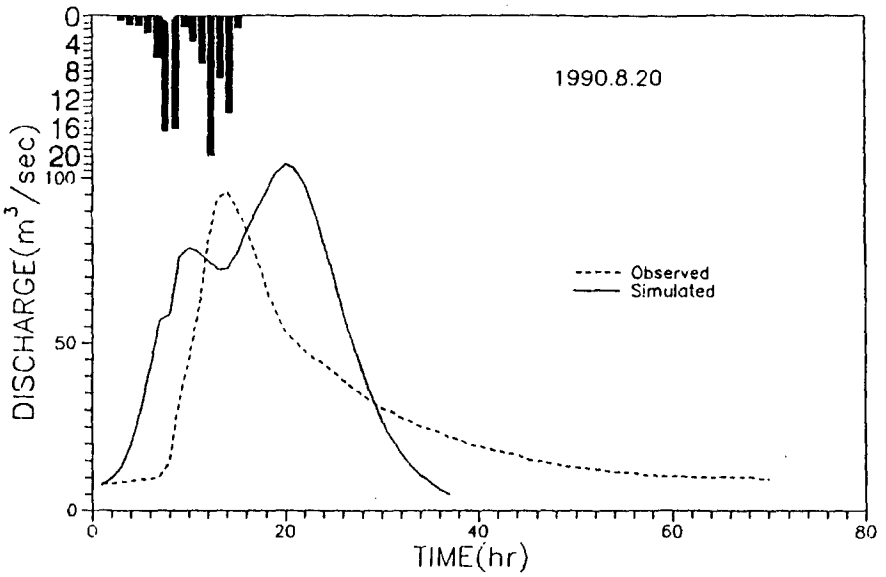
이는 降雨強度의 不均等性 및 透水係數 K의 變化에 影響이 있다.



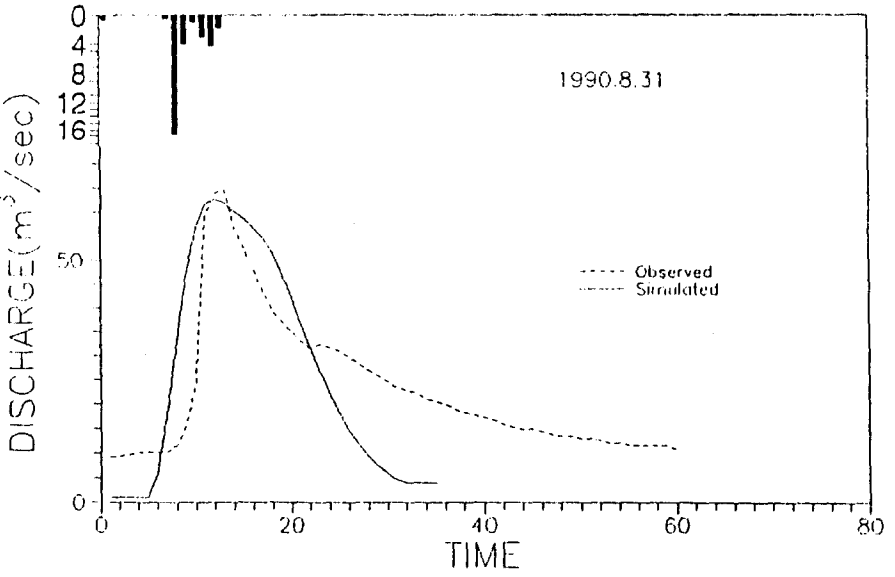
(a) Simulated and observed hydrograph at '90.6.19.



(b) Simulated and observed hydrograph at '90.7.14.



(c) Simulated and observed hydrograph at '90.8.20.



(d) Simulated and observed hydrograph at '90.8.31.

Fig. 2 Simulated and observed hydrographs for San-seong station in Bocheong watershed.

6. 結　論

본 硏究는 降雨에 따른 河川에서의 直接流出에 대한 解析을 위하여 지형학적인자 및 Philip의 침투이론을 기초로한 Interactive Program에 의하여 錦江水系內의 報靑川 代表流域中 最上流地點인 山城地點(No.5)에 대하여 適用시켜 分析한 結果는 다음과 같다.

1. 本 模型을 實測資料가 있는 報靑川 流域에 適用한 結果 Philip의 浸透率 變化는 공극율(n), 투수계수(K(i))값에 敏感한 反應을 보임을 알수 있었으며, 공극비(m) 및 지하수위(Z)값에는 敏感하지 않음을 알 수 있었다.

2. 本 模擬發生 模型을 實際河川에 適用시켜본 結果 模擬發生 水文曲線과 實測水文曲線과 상당히 近似하게 나타났으며, 小河川流域에서 적용可能性을 確認할 수 있었다.

3. 洪水時까지의 到達時間을 本 模型에 의해 計算하여 實測値와 比較해본 結果 Peak time은 比較的 잘 一致하였으나, 模擬 發生한 結果는 實測水文曲線에 비해 급속히 減少함을 알 수 있었다.

4. 本 硏究의 一般化를 위해서는 앞으로 流域의 透水係數 및 空隙率의 算定이 적절히 利用된다면 더욱 正確한 結果가 나올것으로 기대된다.

5. 이상의 結果에서 본 模型은 未計測地域이나 水文資料가 결핍된 流域에서 水工構造物設計에 必要한 流出量을 算定하는데 有用할 것으로 판단된다.

7. 참　고　문　헌

1. Rodriguez-Iturbe, I. and Valdes, J.B., (1979) "The Geometrophological Structure of Hydrological Response", Water Resourse Research, Vol.13 1409-1420.
2. Allam, M.N. & Balkhair, K.S. (1987) "Case Study Evalaution of the Geomorphologic Instantaneous Uint Hydrograph", Water Resources Vol.1, 267-291.
3. Valdes, J.B., Y.fiallo & I.Rodriguez-Itrube, (1979) "A Rainfall-runoff Analysis of the Geomorpologic IUH", Water resourse Res., Vol.15(6), 1421-1434.
4. Rodriguez-Iturbe, I.& Valdes, J.b., (1979) " Geomorphological Structure of Hydrological Response" Water Resources Research, Vol.15, 1409-1420.
5. 建設部(1980-1991)"國際水文開發計劃(IHP)硏究報告書".
6. Alley, W.N.,& Dawdy, D.R.,& Schaake, J.C. (1980) "Parametric Deterministic Urban Watershed Model", Hydraulic Division, ASCE, 106(Hy5)
7. Gupta, V.K.,& Waymire, E.,& Wang, C.T. (1980) resentation of an Instantaneous Unit Hydrograph from Geomorphology", Water Resources Research Vol.855-862.