

小流域의 流出解析에 關한 研究

A Study on the Runoff Analysis for Small Watersheds

江原大學校 教授 崔禮煥

I. 緒 論

날로 發展해 가는 工業 및 農業과 막대한 人口의 增加로 水의 需要量이 急增하므로써 우리나라에도 水不足 現象이 두드러지면서 水의 極大 利用을 위하여 보다 正確한 流出量을 推定하는 것은 水資源 開發을 위하여 매우 중요한 일이라고 본다.

韓國의 水資源 狀況을 살펴 보면, 年間 平均 降水量이 $1,159 \text{ mm}$ 로서 總水資源 賦存量은 $1,140 \text{ 億 m}^3$ 에 達하고, 其中 河川 流下量이 662 億 m^3 이며, 蒸發 및 滲透量이 478 億 m^3 이다. 그러나, 이 可用水資源 662 億 m^3 中 61% 에 해당하는 405 億 m^3 가 夏節의 淡水로 直接 流出되어 平常時 流下量은 257 億 m^3 에 불과하다.

그런데, 用水 需要量을 보면, 1971 年에 總流出量의 20.24% (134 億 m^3) 에서 1981 年에는 28.1% (186 億 m^3) 이며, 2000 年代에는 年間 357 億 m^3 이 必要하다고 하니 用水不足 現象이 著明하게 되었다.

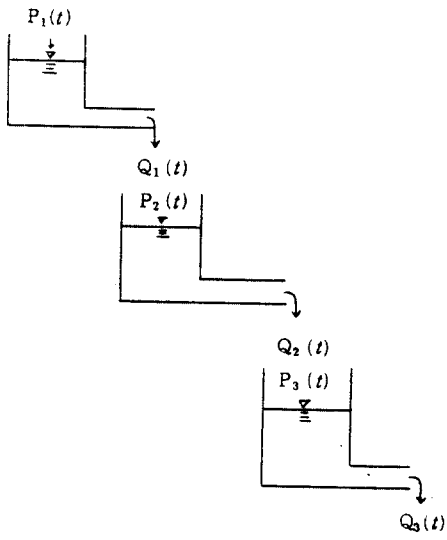
특히, 農業用水의 需要量은 1971 年에 101.69 億 m^3 이었으나, 現在는 129.3 億 m^3 으로 增加 되었고, 장차 水利畝率 90%의 1241 萬ha를 灌溉하기 위해서는 203.7 億 m^3 의 물이 必要하다.

그런데, 우리나라의 小流域 開發時에는 小流域에서의 設計 洪水量 水文曲線 (Design Flood Hydrograph) 의 資料가 不足하고, 中·大河川에 對해서는 大部分 建設部 所屬의 資料에 依해서 分析 使用되어 왔으며, 따라서, 農業用水 開發事業에 적용할만한 Model 이 없어서 실제 농업용수개발사업 분야에 設計 洪水量 決定時에는 심한 險路를 겪고 있는 實情의 攄음에 小流域에 對한 降水 水流出의 最適 Model을 設法히 必要로 하고 있다.

本 研究에서는 우리나라 半月 G-1 (5,317 km^2) 와 G-2 (4,096 km^2) 流域에 Nash-Model 과 J-Model 을 적용하여 IUH (시간안위도)를 찾아내었고 實測值와 계산치를 比較·檢討 하였으며, 임의의 降水流出量을 앞 에서 찾은 IUH를 利用하여 Convolution Integral으로 계산된 유출량을 比較·分析을 하고 objective function 을 利用하여 Optimization을 檢討 하였다.

II. 基本理論

1. Nash - Model



Nash-Model은 線型貯溜의 cascade 이다. 流出量 $Q(t)$ 와 流入함수 $p(t)$ 와 관계되는 미분방정식은 常数係數線型方程式이다.

따라서, Time invariant impulse response (시간 - 定 impulse)는

$$u(0, t) = \frac{1}{k} \exp\left(-\frac{t}{k}\right)$$

이다. $t > 0$ 일 때, $p(t) = 0$ 를 가지는 單位貯溜減退曲線이다. n 개의 같은貯溜에 대해서

$$u(0, t) = \frac{1}{k} \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} \frac{1}{(n-1)!} e^{-t/k}$$

Nash의 Gamma 분포에서는

$$E(t) = \int_0^{\infty} u(0, t) t, dt = nk \int_0^{\infty} \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} \frac{1}{n!} e^{-t/k} d\left(\frac{t}{k}\right)$$

이며, lag = nk 이다.

τ 時間 동안의 Block input 와 $\frac{1}{\tau}$ 強度, τ 時間 Unit Hydrograph는

$$u(\tau, t) = \frac{1}{\tau} \left[\int_0^t u(0, t-\tau) d\tau - \int_0^{t-\tau} u(0, \tau) d\tau \right]$$

$$= \frac{1}{T} (S_t - S_{t-z}) = \frac{1}{T} = \int_{t-z}^t u(0, \sigma) d\sigma$$

2. J-Model

J-Model은 Netherlands에서 지하수 흐름 방정식으로 부터 1958년에 Kraijenhoff가誘導하였다

수강면위의 方程式은

$$u(0, t) = \frac{q}{\pi^2} \frac{1}{j} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \exp\left(-\frac{n^2 t}{j}\right)$$

여기서 j 는 貯水係數이다

IUH의 概念과 Convolution Integral을 사용해서

Parallel로 구하면

$$u(0, t) = \frac{q}{\pi^2} \frac{1}{j} e^{-\frac{t}{j}} + \frac{1}{j} \frac{q}{\pi^2} \frac{q}{j} e^{-\frac{2t}{j}} + \frac{1}{2j} \frac{q}{\pi^2} \frac{2t}{j} e^{-\frac{2t}{j}} + \dots$$

이다. 常數降雨強度 $\frac{1}{D}$ 에 대해 IUH를 Convolution

하면 S-Curve는

$$S(t) = \frac{1}{D} \frac{q}{\pi^2} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n^2} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{n^2 t}{j}\right) \right\}$$

이다. $t > D$ 일때 D-Hour Unit Hydrograph는

$$u(D, t) = S(t) - S(t-D)$$

이다. 잊지들은 치환하면

$$u(D, t) = \frac{1}{D} \frac{q}{\pi^2} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n^2} \left[\exp\left(-\frac{n^2 t}{j}\right) - 1 \right] \exp\left(-\frac{n^2 t}{j}\right)$$

이다.

III. 資料 및 方法

1. 資料

半月流域은 半月 저수지에 유입하는 總流域面積 1,220 ha 中 G-1 지구의 集水流域은 531.7 ha 이고, G-2 地區는 集수구역이 409.6 ha 이다.

本 地區는 自記水位計를 설치 1993, 1999, 1995 年에 걸쳐 水位를 관측하고 水位-流量曲線으로 부터 流出量을 얻었다.

2. 方法

降水量의 同質性 分析을 한 後에 半月의 G-1, G-2 구역에 1994, 1995 사이에 관측한 降水-流出量으로부터 時間 單位圖를 Nash-Model 과 J-Model 에 대하여 구하고 Objective function 치로 二 Model 의 Optimization 精度를 알아냈다. 또한, Convolution Integral 은 3 時間 유출량으로 觀測值와 計算值를 比較 分析 檢討하였다.

또한, 流域의 持性과 浸水量에 대한 것을 알기 위하여 G_p , T_p , T_b 를 산출하여 相對誤差를 알아 보았다.

IV. 結果と考察

① Unit Hydrograph

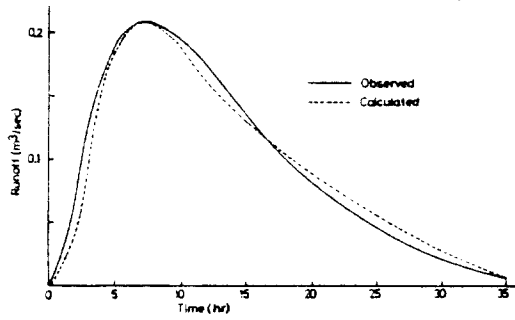


Fig. 1 Unit hydrograph of Nash-Model in Banweol, G - 1

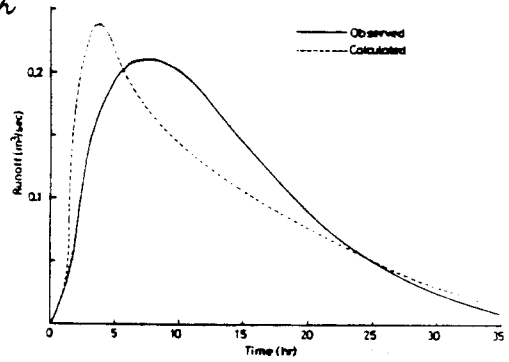


Fig. 3 Unit hydrograph of J-Model in Banweol, G-1.

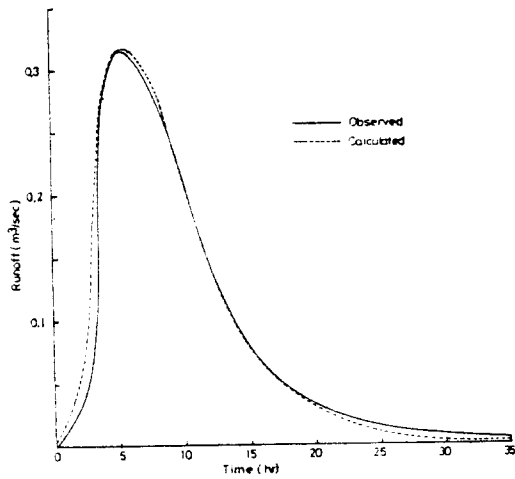


Fig. 2 Unit hydrograph of Nash-Model in Banweol, G - 2 .

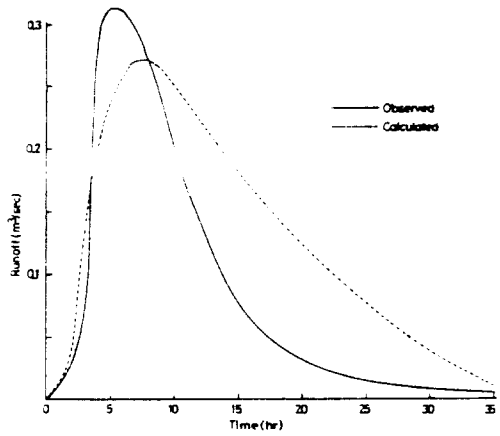


Fig. 4 Unit hydrograph of J-Model in Banweol, G-2.

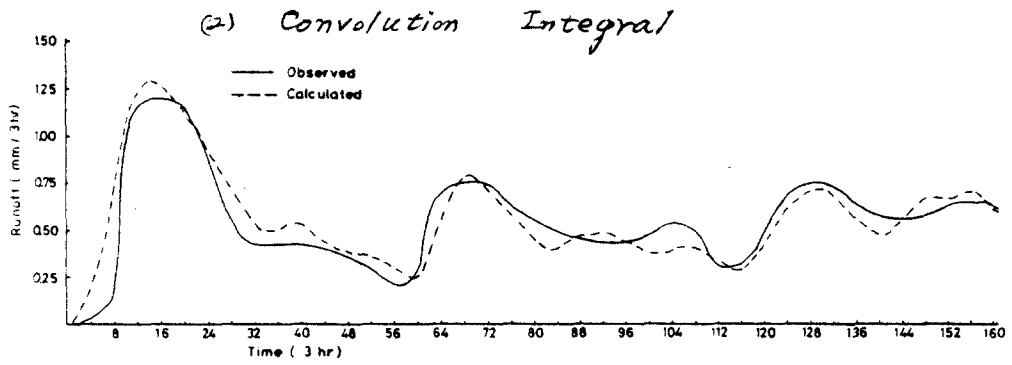


Fig. 5 Convolution of Nash - Model with 1974-DUH at Ban Weol G-1 from 1974 .

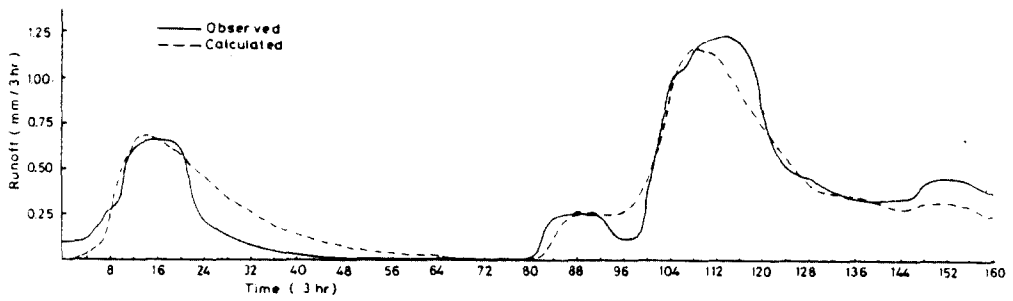


Fig. 6 Convolution of Nash-Model with 1974-DUH at Ban Weol G-1 from 1975.

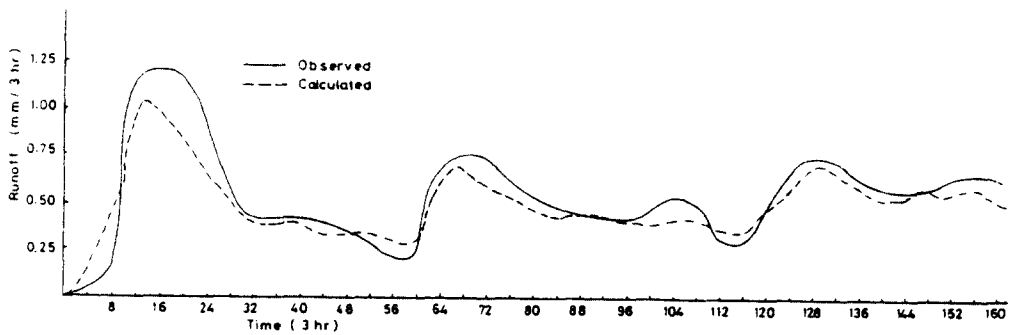


Fig. 7 Convolution of J-Model with G-1 DUH at Ban Weol G-1 from 1974.

Table 1 Total area and Objective function Values of Models in Banweol.

Model	Year	Number of parameter	Catchment G - 1		Remarks
			Total area DUH	Objective function	
Nash-Model	1974	2	0.6256	0.0054	
J-Model	1974	3	0.8173	0.0557	
			Catchment G - 2		
Nash-Model	1974	2	0.3918	0.0102	
J-Model	1975	3	0.1745	1.1511	

Table 2 The Calculated J Values

Term	Catchment	
	G - 1	G - 2
Basin area, A (km ²)	5.317	4.096
Total length of channels, l (km)	6.671	3.486
$L = \frac{A}{\Sigma l}$	0.797	1.175
Active porosity, μ	0.4	0.4
Permeability, K (m/sec)	1.5×10^{-5}	1.5×10^{-5}
Depth of aquifer, D (m)	7	7
$J = \frac{\mu L^2}{\Sigma^2 KD}$	245.4	533.5

Table 3 Objective function values for Convolution Integral of various Models in Banweol

Model	Year	Number of Parameter	Catchment G - 1 Objective function values	Remarks
Nash - Model	1974	2	1.5539	with 1974-DUH
Nash - Model	1975	2	6.6749	with 1974-DUH
J - Model	1974	3	1.9365	with G-1 DUH
J - Model	1975	3	6.5086	with G-1 DUH
			Catchment G - 2	
Nash - Model	1974	2	1.5198	with 1974-DUH
Nash - Model	1974	2	1.6769	with 1975-DUH
J - Model	1974	3	1.6798	with G-2 DUH
J - Model	1975	3	91.4302	with G-2 DUH

Table 4 Comparison of the observed and calculated values for Nash-Model and J-Model in Banweol

Term		Q _p (m ³ /s)		T _b (hr)		T _p (hr)		$\frac{Q_{p,obs} - Q_{p,calc}}{Q_{p,obs}}$ (%)
		Obs.	Cal.	Obs.	Cal.	Obs.	Cal.	
Nash-Model	G-1	0.210	0.210	8.0	7.0	39.0	38.0	0.00
	G-2	0.315	0.318	5.0	5.5	41.0	40.0	0.94
J-Model	G-1	0.220	0.240	8.0	3.5	39.0	53.0	9.09
	G-2	0.315	0.270	5.0	8.0	41.0	36.0	14.28

V. 結 論

水利構造物의 설계에 있어서 洪水量 推定과 조절을 위해 무엇보다도 필요한 單位圖 尤도를 위하여 本 연구에서는 小流域인 半月의 G-1 (5,319 km²)와 G-2 (4,096 km²)의 2개 유역에 Nash-Model과 J-Model을 적용하여 單位圖를 구하고 Convolution Integral表를 적용하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 半月流域의 降雨分佈 樣相은 χ^2 검정과 Kolmogorov-Smirnov 검정결과 Double Exponential Distribution가 適用分佈型으로 인정 되었다.

2. 半月의 G-1 유역에 있어서 單位圖에 대한 Objective Function 値는 Nash-Model과 J-Model이 各各 0.0054 및 0.0557로서 매우 Optimization 되고 G-2 유역에서는 各各 0.0102 및 1151로 나타남에 Objective Function 値가 相對적으로 커서 Optimization 하다고 볼 수 없다.

3. 半月流域의 J-Model은 위한 J 값은 流域特性에 左右되며, G-1 과 G-2 유역의 J 값은 各各 2454, 533.5로서 작은 값은 가진 G-1 유역이 보다 더 Optimization 되었다.

4. 半月 G-1 유역에서의 Nash-Model에서 Convolution

Integral을 적용한 바 Objective Function 값이 1.5539와 6.6749로 나타났고, J-Model에서는 1.9365와 6.5086으로서 兩 Model이 互히 Optimization함을 보여 주었다.

5. G-2 유역에서는 Nash-Model의 Convolution Integral을 적용한 바 Objective Function 값이 1.5198과 1.0769로서 역시 Optimization되며, J-Model은 1.6798과 91.4302로서 前者는 Optimization되나 後者는 不適合하다고 思料된다.

6. 單位圈의 Peak 流量은 Nash-Model인 경우에는 관측치와 실측치의 Peak 流量의 오차가 半月 G-1 流域에서 0.00% 및 G-2 유역에서 0.94%로 나타났고, J-Model의 경우에는 各處 9.09% 및 14.28%로서 J-Model의 G-2 유역을 除外하고는 모두 許容誤差範圍內이었다.

7. 一般적으로 우리 나라의 小流域에서는 Nash-Model의 適用性이 인정되고, 半月의 G-1과 같은 流域傾斜가 비교적 완만하고 樹枝形 小流域에서는 J-Model의 적용도 가능하다고 解析 되었다.