

## 탱크 모델에 의한 洪水 流出量 解析에 關한 研究

洪 昌 璿\* · 崔 漢 圭\*\*

### A study on the flood runoff analysis with TANK MODEL

Chang-sun Hong\* · Han-kuy Choi\*\*

#### Abstract

This study aims at the determination of the coefficients of runoff and infiltration affecting runoff. The rating curve is more available than the peak flood runoff to determine the flood control plan of flood control reservoir and the volume of hydroelectric power plant, or to make multipurpose dam. In hydrologic analysis and design, it is necessary to develop relations between precipitation and runoff, possible using some of the factors affecting runoff as parameters.

In order to calculate the runoff discharge, the runoff process constituting elements are divided to the surface runoff, the subsurface runoff and the groundwater runoff.

By comparing the computed hydrograph with the measured hydrograph, determined the watershed TANK Model constant Varying the tank model constant for approximating the computed hydrograph to the measured hydrograph.

#### 1. 序 論

河道計劃이나, 橋梁, 暗渠 등의 計劃에서는 尖頭洪水流量만을 알아도 되는 경우가 있다.<sup>1)</sup>

그러나 多目的 댐이나 洪水調節池에 의한 洪水調節計劃이 있을 경우에는 流量-時間曲線이 꼭 필요한 때도 불구하고 댐이 설치되는 流域에 水位, 流量의 實測値가 없는 것이 많으므로 이를 위하여 降雨과 流出量간의 關係수립이 대단히 중요하다.<sup>2,3)</sup>

降雨에 의한 流量 算出法에는 流域의 降雨特性을 고려하는 合理式<sup>3)</sup>이 있으며 1932年 美國의 Sherman 에 의하여 실마리를 풀게된 單位

流量圖法이 있다.<sup>4,5)</sup> 그후 單位流量圖法の 思想과 다른 角度에서 流出을 解析하려고 하는 독특한 流出函數法, 貯溜函數法, 雨水流法 및 貯水池모델法 등이 출현하여 實用중에 있다.<sup>5)</sup>

本 論文은 國際水文開發計劃(IHP)에 의한 代表試驗流域 第1段階 事業의 4大江 流域중 錦江의 無心川 流域 實測資料를<sup>6)</sup> 사용하여 洪水流出을 計算하였으며 計算値에 의한 實測値에 따른 流量曲線을 비교 검토하여 모델 定數를 결정하였다.

따라서, 어떤 流域의 역사적 기록치로부터 그 流域의 모델 定數를 推定해 놓음으로 인해서 特定 降雨에 대한 洪水 流出量의 時間的 分布를 쉽게 구할 수 있다.

\* 大林工業專門大學 土木科 專任講師

\*\* 江原大學校 工科大學 土木工學科 助教授

\* Full Time Instructor, Dept. of Civil Engineering, Daelim Technical Junior College.

\*\* Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Kangweon National University.

## 2. 탱크 모델(TANK Model)<sup>1)</sup>

탱크 모델法이란 Fig. 1에서 보는 바와 같이 오리피스(orifice)形의 탱크를 여러층으로 直列시키고 降雨는 第1탱크에 들어가며 각 탱크에는 側壁에 流出孔이 있고, 밑에는 下段 탱크에 流入하는 浸透孔이 달려있다. 流出量은 各段 탱크의 流出孔에서 나오는 水量의 合計이다.

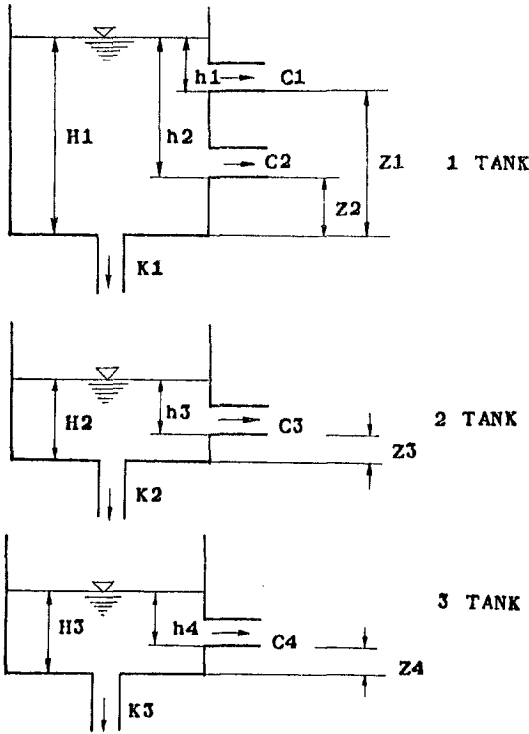


Fig. 1. TANK MODEL

流出孔과 浸透孔에서 流出되는 水量은 單位時間  $\Delta t$ 에 대한 各 流出孔의 水頭  $h$  및  $H$ 의 비율로 결정되며 流出係數를  $C$ , 浸透係數를  $K$ 라 하고 탱크內의 貯溜高를  $H$ , 流出高를  $Y$  및 浸透高를  $S$ 라 하면 모두 水深의 單位(mm)로 表示된다.

$$Y = h \times C \dots\dots\dots(2. 1)$$

$$S = H \times K \dots\dots\dots(2. 2)$$

第1탱크는 表面流出을 分擔, 第2탱크는 中間流出을 分擔, 第3탱크는 地下流出을 分擔하는 것으로 생각하면 洪水流出의 計算은 3段탱크까

지로 충분하다. 各 탱크의 流出孔 위치는  $Z$ 로 표시하고 탱크 밑면으로부터의 높이이다.

Fig. 1에 表示된 바와 같이 流出孔은 4個, 浸透孔은 3個 있으며, 流出係數는  $C_1, C_2, C_3$  및  $C_4$ 의 4個, 浸透係數는  $K_1, K_2$  및  $K_3$ 의 3個 孔口의 높이는  $Z_1, Z_2, Z_3$  및  $Z_4$  등 4個로서 모두 11個의 모델 定數를 決定하는 것이 탱크 모델에 의한 流出解析이라고 말할 수 있다.

따라서 탱크 모델에서의 降雨量은 有效雨量을 計算하지 않고 降雨量을 그대로 使用하므로 計算法은 非線形的인 收支計算이다.

## 3. 理論的 背景<sup>1)</sup>

### 3. 1. 基本理論

Fig. 1에서  $\Delta t$  時間 동안의 總流出高는  $\Sigma Y = h_1 \times C_1 + h_2 \times C_2 + h_3 \times C_3 + h_4 \times C_4 \dots\dots(3. 1)$

여기서,  $h_1, h_2, h_3, h_4$ 는 各 탱크의  $\Delta t$  時間內의 水深이며  $C_1, C_2, C_3, C_4$ 는 各 탱크의 流出係數이다.

(3. 1) 式을 다시 표시하면

$$\Sigma Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 \dots\dots\dots(3. 2)$$

가 되고  $Y_1, Y_2, Y_3$  및  $Y_4$ 는 各 탱크의 流出高이다.

$\Delta t$  時間內의 浸透高는

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= H_1 \times K_1 \text{ (第2탱크의 流入量)} \\ S_2 &= H_2 \times K_2 \text{ (第3탱크의 流入量)} \\ S_3 &= H_3 \times K_3 \text{ (深層地下에의 損失量)} \end{aligned} \right\} (3. 3)$$

여기서  $H_1, H_2, H_3$ 는 各 탱크의 貯溜高이며  $K_1, K_2, K_3$ 는 浸透係數이다.

$\Delta t$  時間의 降雨量을  $R$ , 임의시각  $t$ 에 있어서 貯溜深을  $H_{1(t)}$ ,  $(t + \Delta t)$  時刻에 있어서의 貯溜深을  $H_{1(2)}$ 로 하면 第1탱크의 收支條件은

$$H_{1(2)} = H_{1(t)} + R - (Y_1 + Y_2) - S_1 \dots\dots(3. 4)$$

第2탱크의 收支條件은

$$H_{2(2)} = H_{2(t)} + S_1 - Y_3 - S_2 \dots\dots\dots(3. 5)$$

第3탱크의 收支條件은

$$H_{3(2)} = H_{3(t)} + S_2 - Y_4 - S_3 \dots\dots\dots(3. 6)$$

따라서 어떤 流域의 特定 豪雨로 인한 單位時間  $\Delta t$  內의 直接 流出量은

$$Q_D = \Sigma Y \times \frac{A}{3.6} \text{ (m}^3\text{/sec)} \dots\dots\dots(3. 7)$$

여기서  $\Sigma Y$ 는 總流出高(mm)를 말하며 A는 流域面積(km<sup>2</sup>)을 表示한다.

따라서 貯留량을  $Q_r$ 라 하면 어떤 流域의 總流出量은

$$Q_r = Q_D + Q_s \dots\dots\dots(3. 8)$$

### 3.2. 平均 貯留高

탱크 모델의 원형에서는 平均 貯留高를 참작 없이  $Y = (H_{(1)} + R)C$ ,  $S = (H_{(1)} + R)K$ 로 하고  $(t + \Delta t)$  時刻의 貯留高는  $H_{(2)} = H_{(1)} + R - Y - S$ 로 單純化 시켰다. 그러나 流出計算의 單位時間을  $\Delta t$ 로 하였을 때 任意時刻 t에 있어서의 貯留高는 變化되기 때문에 各 孔口의 水頭도  $\Delta t$  時間內的 平均을 사용하는 것이 더욱 精確한 計算值를 얻을 수 있다. 그러므로 平均 貯留高를 使用한 流出量 計算式을 살펴 보기로 하자.

第1탱크에 관하여

時 刻	貯 留 高	第 1 孔 有 効 水 頭	第 2 孔 有 効 水 頭
t	$H_{1(1)}$	$h_{1(1)}$	$h_{2(1)}$
$\Delta t$	$H_{1(2)}$	$h_{1(2)}$	$h_{2(2)}$

第1孔의 平均水頭는

$$h_1 = \frac{h_{1(1)} + h_{1(2)}}{2} = \frac{H_{1(1)} - Z_1 + H_{1(2)} - Z_1}{2} = \frac{H_{1(1)} + H_{1(2)}}{2} - Z_1 \dots\dots\dots(3. 9)$$

第2孔의 平均水頭는

$$h_2 = \frac{h_{2(1)} + h_{2(2)}}{2} = \frac{H_{1(1)} - Z_2 + H_{1(2)} - Z_2}{2} = \frac{H_{1(1)} + H_{1(2)}}{2} - Z_2 \dots\dots\dots(3. 10)$$

第1孔의 流出高는

$$Y_1 = \frac{H_{1(1)}}{2} \cdot C_1 + \frac{H_{1(2)}}{2} \cdot C_1 - Z_1 \cdot C_1 \dots\dots\dots(3. 11)$$

第2孔의 流出高는

$$Y_2 = \frac{H_{1(1)}}{2} \cdot C_2 + \frac{H_{1(2)}}{2} \cdot C_2 - Z_2 \cdot C_2 \dots\dots\dots(3. 12)$$

浸透高는

$$S_1 = \frac{H_{1(1)}}{2} \cdot K_1 + \frac{H_{1(2)}}{2} \cdot K_1 \dots\dots(3. 14)$$

(3. 11)式~(3. 13)式을 (3. 4)式에 代入하여 정리하면

$H_{1(1)} > Z_1$ 인 경우에는

$$H_{1(2)} = H_{1(1)} + R - \frac{H_{1(1)}}{2} (C_1 + C_2 + K_1) - \frac{H_{1(2)}}{2} (C_1 + C_2 + K_1) + Z_1 C_1 + Z_2 \cdot C_2$$

$$H_{1(2)} = \left[ \frac{2}{2 + C_1 + C_2 + K_1} \right] \left[ \frac{2 - (C_1 + C_2 + K_1)}{2} \cdot H_{1(1)} + R + Z_1 C_1 + Z_2 C_2 \right] \dots\dots\dots(3. 14)$$

$Z_2 < H_{1(1)} < Z_1$ 인 경우에는  $C_1 = 0$ 이므로 (3. 14)式에서

$$H_{1(2)} = \left[ \frac{2}{2 + C_2 + K_1} \right] \left[ \frac{2 - (C_2 + K_1)}{2} \cdot H_{1(1)} + R + Z_2 C_2 \right] \dots\dots\dots(3. 15)$$

$H_{1(1)} < Z_2$ 인 경우에는  $C_1 = 0$ ,  $C_2 = 0$ 이므로

$$H_{1(2)} = \left[ \frac{2}{2 + K_1} \right] \left[ \frac{2 - K_1}{2} \cdot H_{1(1)} + R \right] \dots\dots\dots(3. 16)$$

그러므로

$$\left. \begin{aligned} Y_1 &= C_1 \left[ \frac{H_{1(1)} + H_{1(2)}}{2} - Z_1 \right] \\ Y_2 &= C_2 \left[ \frac{H_{1(1)} + H_{1(2)}}{2} - Z_2 \right] \\ S_1 &= K_1 \left[ \frac{H_{1(1)} + H_{1(2)}}{2} \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3. 17)$$

第1탱크에서 行한 것과 같이 第2, 第3탱크에 적용하면,

第2탱크에서

$H_{2(1)} > Z_3$ 인 경우

$$H_{2(2)} = \left[ \frac{2}{2 + C_3 + K_2} \right] \left[ \frac{2 - (C_3 + K_2)}{2} \cdot H_{2(1)} + S_1 + Z_3 C_3 \right] \dots\dots\dots(3. 18)$$

$H_{2(1)} < Z_3$ 인 경우  $C_3 = 0$ 이므로

$$H_{2(2)} = \left[ \frac{2}{2 + K_2} \right] \left[ \frac{2 - K_2}{2} \cdot H_{2(1)} + S_1 \right] \dots\dots\dots(3. 19)$$

$$\left. \begin{aligned} Y_3 &= C_3 \left[ \frac{H_{2(1)} + H_{2(2)}}{2} - Z_3 \right] \\ S_2 &= K_2 \left[ \frac{H_{2(1)} + H_{2(2)}}{2} \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots(3. 20)$$

第3탱크에서

$H_{3(1)} > Z_4$ 인 경우에는

$$\left. \begin{aligned} H_{3(2)} &= \left[ \frac{2}{2 + C_1 + K_3} \right] \\ &\left[ \frac{2 - (C_4 + K_3)}{2} \cdot H_{3(1)} + S_2 + Z_4 \cdot C_4 \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots(3. 21)$$

$H_{3(1)} < Z_4$ 인 경우  $C_4 = 0$ 이므로

$$\left. \begin{aligned} H_{3(2)} &= \left[ \frac{2}{2 + K_3} \right] \\ &\left[ \frac{2 - K_3}{2} \cdot H_{3(1)} + S_2 \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots(2. 22)$$

$$\left. \begin{aligned} Y_4 &= C_4 \left[ \frac{H_{3(1)} + H_{3(2)}}{2} - Z_4 \right] \\ S_3 &= K_3 \left[ \frac{H_{3(1)} + H_{3(2)}}{2} \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots(3. 23)$$

따라서  $\Delta t$  시간內的 總流出高는

$$\Sigma Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 \dots\dots(3. 24)$$

$\Delta t$  시간內的 直接 流出量은

$$Q_D = \frac{\Sigma Y \cdot A}{3.6} \text{ (m}^3\text{/sec)} \dots\dots(3. 25)$$

$\Delta t$  시간內的 總流出量은

$$Q_T = Q_D + Q_o \dots\dots(3. 26)$$

## 4. 洪水 流出量의 計算

### 4. 1. 洪水 流出量의 計算

忠清北道 清原郡 가덕면 금거리에 위치한 流域面積 20.0km<sup>2</sup>인 錦江 無心川 流域의 1976年 8月 27日 06:00~16:00時까지 流域에 내린 豪雨로 인한 流域出口에서의 總流出量을 구하여 實測值와의 比較에 의하여 가장 적절한 모델定數를 결정한다.

時間別 降雨量은 Table 1과 같고 基底流量은 1.0m<sup>3</sup>/sec로 定한다.

本 論文에서의 計算은 平均 貯留高를 사용하여 計算하였으므로 (t+ $\Delta t$ ) 時刻의 貯留高  $H_{n(2)}$ 와 流出孔의 위치  $Z_n$ 의 比較에 의하여 流出의 有無를 판단하기 때문에 (-)값의 流出高가 計

Table 1. 時間別 降雨量

日	時	降雨量(mm)
1976. 8. 27	06:00	9.01
	08:00	8.91
	10:00	30.24
	12:00	8.19
	14:00	11.24

算되는 경우가 있어 不合理하게 되므로 이러한 경우 流出이 없었던 것으로 하고 그 流出孔을 무시한 計算을 하여 다시 고치도록 하였으며 各 모델定數를 사용하여 計算된 流出水文曲線이 Fig. 2에 나타나 있으며 實測水位圖와의 비

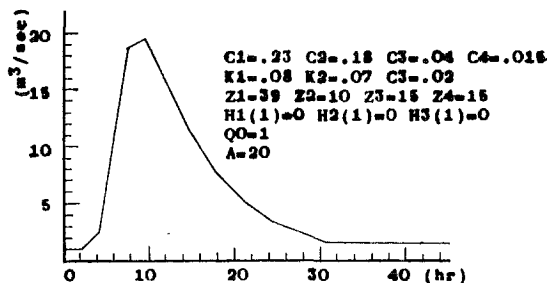
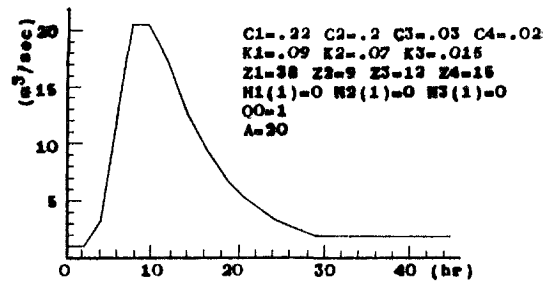


Fig. 2. FLOOD HYDROGRAPH AND TANK MODEL COEFFICIENT

교에 의하여 最終 決定한 모델定數와 거기에 따른 計算値는 Table 2와 같고 Table 2에 의한 洪水流出水文曲線은 Fig. 3과 같다.

Table 2. Calculation of flood Runoff Volume

T	R	H1(2)	Y1	Y2	S1	H2(2)	Y3	S2	H3(2)	Y4	S3	Y	Q	QT
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
4	9.010	8.190	0.000	0.000	0.819	0.787	0.000	0.031	0.031	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
6	8.910	14.801	0.000	0.349	2.299	2.937	0.000	0.149	0.178	0.000	0.002	0.349	0.970	1.970
8	30.240	37.423	0.000	2.395	5.222	7.733	0.000	0.426	0.597	0.000	0.007	2.395	6.654	7.654
10	8.910	35.240	0.000	3.826	7.266	13.834	0.302	0.862	1.439	0.000	0.020	4.129	11.469	12.469
12	11.240	35.683	0.000	3.704	7.092	18.870	0.748	1.308	2.706	0.000	0.041	4.452	12.369	13.369
14	0.000	26.390	0.000	3.085	6.207	22.340	1.088	1.648	4.284	0.000	0.069	4.173	11.593	12.593
16	0.000	19.798	0.000	1.973	4.618	23.826	1.286	1.846	6.028	0.000	0.103	3.259	9.055	10.055
18	0.000	15.122	0.000	1.184	3.492	24.048	1.355	1.915	7.805	0.000	0.138	2.539	7.054	8.054
20	0.000	11.804	0.000	0.624	2.692	23.497	1.341	1.901	9.533	0.000	0.173	1.966	5.463	6.463
22	0.000	9.451	0.000	0.227	2.125	22.503	1.280	1.840	11.166	0.000	0.207	1.507	4.188	5.188
24	0.000	7.781	0.000	0.000	1.723	21.283	1.191	1.751	12.679	0.000	0.238	1.191	3.309	4.309
26	0.000	6.366	0.000	0.000	1.414	19.958	1.089	1.649	14.061	0.000	0.267	1.089	3.026	4.026
28	0.000	5.209	0.000	0.000	1.157	18.592	0.982	1.542	15.310	0.000	0.293	0.982	2.727	3.727
30	0.000	4.262	0.000	0.000	0.947	17.233	0.873	1.433	16.425	0.000	0.317	0.873	2.425	3.425
32	0.000	3.487	0.000	0.000	0.774	15.916	0.765	1.325	17.413	0.000	0.338	0.765	2.127	3.127
36	0.000	2.853	0.000	0.000	0.634	14.663	0.663	1.223	18.279	0.000	0.356	0.663	1.842	2.842
38	0.000	2.334	0.000	0.000	0.518	13.490	0.566	1.126	19.032	0.000	0.373	0.566	1.572	2.572
40	0.000	1.909	0.000	0.000	0.424	12.403	0.475	1.035	19.681	0.000	0.387	0.475	1.321	2.321
42	0.000	1.562	0.000	0.000	0.347	11.405	0.392	0.952	20.234	0.000	0.399	0.392	1.089	2.089
44	0.000	1.278	0.000	0.000	0.284	10.497	0.316	0.876	20.701	0.000	0.409	0.316	0.878	1.878
46	0.000	1.046	0.000	0.000	0.232	9.676	0.246	0.806	21.090	0.000	0.417	0.246	0.685	1.685

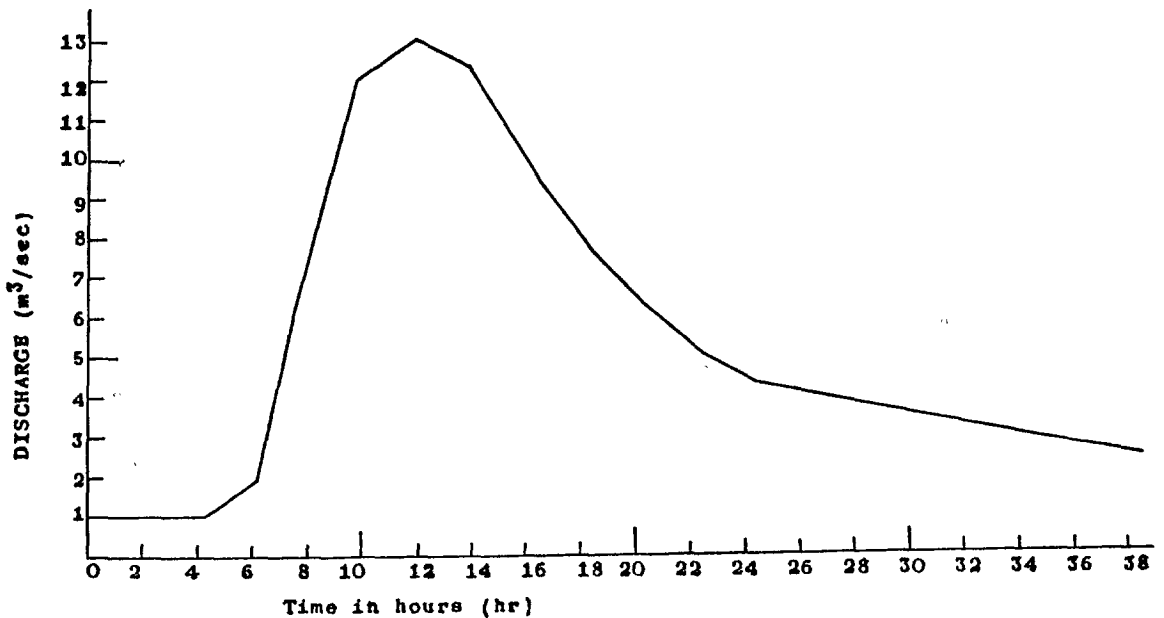


Fig.3. COMPUTED FLOOD HYDRGRAPH OF MUSIN RIVER BASIN

#### 4. 2. 모델 結果의 考察

實測值에 의한 水文曲線과 탱크 모델法으로 구한 水文曲線이 Fig.4에 그려져 있으며 Fig.4

에서 보다시피 實測值와 近似하며 尖頭流量이 조금 크게 나타났다.

이는 더많은 반복계산을 실시하므로서 수정 될 수 있다.

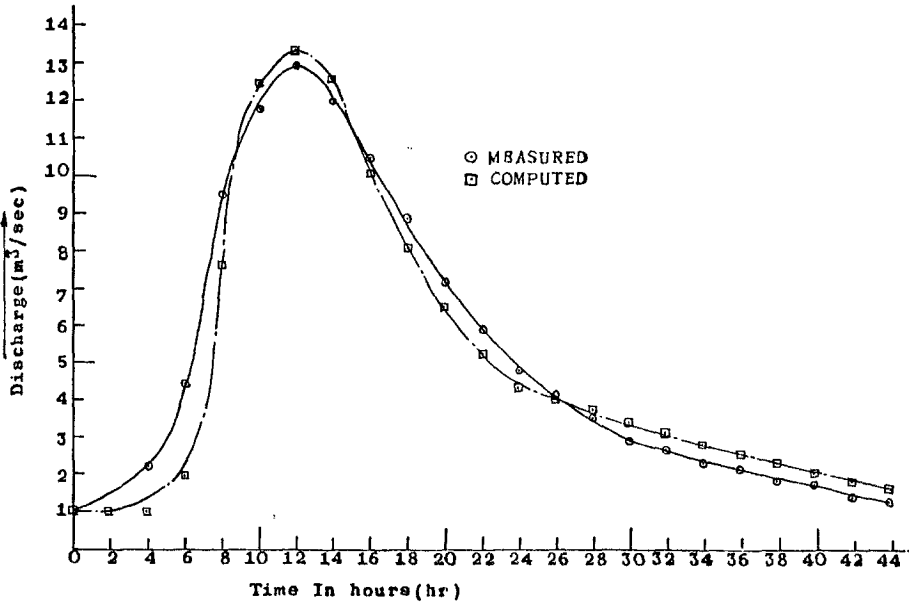


Fig. 4. MEASURED AND COMPUTED FLOOD HYDROGRAPH

本 탱크모델은 앞에서 설명한 바와같이 모델定數의 數가 많고 試算法에 의하여 定數를 決定하기 때문에 느낌과 경험에 의존할 수 밖에 없다는 점이다.

그러나 計算法이 明確하고 流出構成에 있어서 실제에 가깝기 때문에 實用성이 높다고 본다.

#### 4. 3. 流出解析 節次

- ① 모델定數를 假定한다.
- ② (3. 14)式~(3. 26)式에 의거하여  $\Delta t$  時間의 流出量을 計算한다.
- ③ ②항의 結果를 graph 에 plot 한다.
- ④ ③항과 實測 Flood graph 와 比較한다.
- ⑤ ④항의 結果와 近似할 때까지 ①~④를 반복한다.
- ⑥ ⑤항의 結果가 양호하면 그때의 모델定數를 그 流域의 모델定數로 한다.

#### 5. 結 論

本 탱크 모델法은 實測資料와의 比較에 의하여 그 流域의 모델定數를 決定하고 決定된 모델定數를 사용하여 特定 豪雨에 대한 洪水流出量을 算出하는 方法으로서 流出構成이 실제에 가까우므로 실무에 이용할 때 實用성이 높다고 본다.

따라서, 各 流域別로 모델定數를 決定해 놓음으로 인해서 多目的 댐이나 洪水調節計劃이 있을 경우 流量-時間曲線을 쉽게 획득할 수 있다.

물론 실무에 이용할 때 本 方法의 計算過程이 복잡하기는 하나 한번 Computer programming 해 두면 계속하여 사용하므로 별 문제 없으리라 본다.

本 方法에 의하여 얻어진 洪水水文曲線은

Fig. 3과 같으며 Fig. 4에는 實測值에 의한 水文曲線과의 比較에 의한 水文曲線이 그려져 있으며 잘 부합하고 있다.

1) 本 方法에 의한 無心川 流域의 모델定數는 다음과 같다.

流出係數	浸透係數	孔口의 높이
$C_1=0.25$	$K_1=0.2$	$Z_1=40$
$C_2=0.14$	$K_2=0.08$	$Z_2=9$
$C_3=0.08$	$K_3=0.02$	$Z_3=7$
$C_4=0.02$		$Z_4=22$

2) 無心川 流域의 다른 豪雨에 대한 實測資料가 있었더라면 결정된 모델定數를 사용하여 實測水文曲線과 비교할 수 있었더라면 더 좋은 결과가 기대되었으리라 본다.

3) 本 方法은 우리나라 全域의 降雨 및 流資料가 풍부하게 集積됨에 따라 더 정확한 모델

定數를 결정해 나갈 수 있을 것이다.

### 參 考 文 獻

1. 佐藤勝夫: 洪水 流出計算法, 山海堂, (1982)
2. 尹龍男: 水文學, 淸文閣, (1982)
3. Linsley & Kohler: Hydrology for Engineers, McGraw-Hill, Third Edition, (1982)
4. Ven Te Chow: Hand Book of Applied Hydrology, McGraw-Hill, (1964)
5. 崔榮博: 水文學 · 河川工學(I), 螢雪出版社, (1982)
6. 建設部: 國際水文開發計劃(IHP) 代表試驗流域研究調查報告書, (1976)
7. 崔榮博: 水文學, 普成文化社, (1982)
8. R. J. H. Beverton & ANGUS PATON: FLOOD Studies, Natural Environmental Research Council, (1975)