

## 再現期間別 設計有効雨量の 持續期間決定

A Determination of the Design Rainfall Durations of Various Recurrence Intervals

尹 龍 男\*

Yoon, yong Nam

全 炳 浩\*\*

Jun, Byong Ho

## Abstract

Many methods of estimating design floods from rainfall data involve a trial and error procedure to determine the duration of the design rainfall, which is very complicated and time-consuming. In this study, an effort was given to derive an analytical expression for estimating the appropriate duration for use with a particular unit hydrograph. According to the so-derived analytical expression the coordinates of hydrograph curve and rainfall curve for the Musim Representative Basin were computed and then plotted on a same scale graph paper on which the critical durations of design rainfall excess of various recurrence intervals were determined by the point of intersection of the two curves.

## 要 旨

降雨資料로부터 設計洪水량을 推定하는 많은 方法들은 設計降雨量の 持續期間 決定에 매우 複雜한 試行錯誤法을 使用하고 있으나, 本 研究에서는 瞬間單位流量圖 理論을 適用한 解析의 方法에 依하여 近似 持續期間을 決定하는 方法을 理論적으로 展開하였다.

이렇게 誘導된 方法을 無心川 代表流域에 適用하여 交點流量比曲線(hydrograph curve)과 再現期間別로 設計降雨曲線(rainfall curve)을 計算하고, 그 結果를 同一 座標上에 그려 그 交點이 表示하는 有効雨량 持續期間을 決定하였다.

## 1. 序 論

設計洪水량의 算定을 위한 各種 確定論的 方法은 실제에 있어서 非線型인 降雨와 流出間의 關係를 流域의 線型性假定을 前提로하여 設計降雨을 適用하므로써 各種 水工構造物의 設計에 基準이 되는 洪水量 決定을 하고져 하는 것이다. 이들 方法中 實務에 많이 適用 되고 있는 것으로서는 U.S. S.C.S Method<sup>(1)</sup>, Chow Method<sup>(2)</sup>, Pullen Method<sup>(3)</sup>, Cordery and Webb<sup>(4)</sup> 등이 있으며 이는 根本적으로 單位 流量圖 概念에 그 基礎를 두고 있다.

單位圖에 의한 設計洪水량의 決定을 위해서는 單位圖에 適用해야 할 設計 有効雨量の 크기와 時間的 分布가 決定되어야 함은 말할 것도 없다. 設計雨量の 크기

決定은 通常 統計學的 解析(頻度解析)에 의하나, 有効雨量の 크기는 浸透條件에 따라 달라지며 그의 持續期間은 洪水體積의 時間的 分布에 決定的인 影響을 미칠 뿐만 아니라, 尖頭洪水量の 크기에 重要한 影響을 미친다.

上述한 設計洪水량의 算定方法에서는 有効雨量の 持續期間을 여러가지로 假定하여 單位圖 適用에 의해 最大 尖頭洪水량을 發生시키는 持續期間을 決定하는 이른바 試行錯誤法을 使用하고 있으나, 여기서는 瞬間單位流量圖 理論을 適用하여 解析的인 方法에 의해 有効雨量の 設計持續期間을 決定하는 方法을 理論적으로 展開한 후, IHP(國際水文開發計劃) 代表流域인 無心川 代表流域(Fig. 1)의 單位圖와 設計雨量 資料에 適用해 보고자 한다.

\* 本學會 理事·陸士副教授(工博)

\*\* 正會員·陸士專任講師

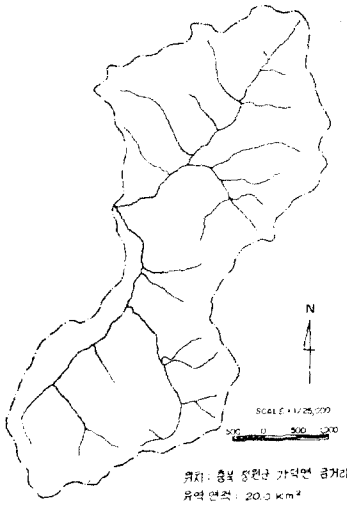


FIG. 1. MUSIM REPRESENTATIVE RIVER BASIN.

2. 理論的 根據

流域의 線型性を 假定하면 D-hr 單位圖의 尖頭流量은 有效雨量의 持續期間인 D가 커짐에 따라 작아지는 반면, 特定 再現期間에 대한 設計雨量은 D에 따라 커지게 되므로 有效設計雨量을 單位圖에 適用하여 尖頭洪水量을 실제로 計算하여, 서로 比較함으로써 어느 持續期間이 最大 尖頭洪水를 發生시키는가를 알 수 있게 된다.

아래의 理論的 展開에서는 有效雨量에 대한 流域의 反應을 線型으로 보아, 單位圖 假定인 一定基底時間假定, 比例假定 및 重骨假定이 그대로 適用되는 것으로 본다.

單位圖의 線型 重骨假定을 適用하면 D-hr 單位圖는 該當 流域의 瞬間單位圖(instantaneous unit hydrograph, IUH)로부터 쉽게 誘導될 수 있으며<sup>(1)</sup>, 式의 形態로 表示하면 두 單位圖間의 關係는 다음과 같다.

$$U(D, t) = \frac{1}{D} \int_{t-D}^t U(o, t) dt \quad (1)$$

여기서 U(D, t)는 持續期間이 D時間인 單位圖이며 U(o, t)는 流域의 瞬間單位圖이다.

한편 流域에 내린 單位有效雨量(1cm)으로 인한 總流出容積은 IUH 아래의 面積이 된다. 卽,

$$V(t) = \int_0^t U(o, t) dt \quad (2)$$

式(1), (2)를 利用하면,

$$U(D, t) = \frac{1}{D} \{V(t) - V(t-D)\} \quad (3)$$

D時間동안에 내린 單位有效雨量으로 인한 洪水水文曲線의 頂點流量은 t = t<sub>p</sub> (여기서 t<sub>p</sub>는 尖頭流量點까지의 時間)일때 發生하며, 다음 式으로 表示할 수 있다.

$$\frac{d}{dt} \{U(D, t)\} = 0 \quad (4)$$

式(1)을 時間(t)에 關해 微分한 후, D-hr 單位圖의 尖頭流量 到達時間 t<sub>p</sub>를 解析的으로 表示해 보면

$$U(o, t_p) = U(o, t_p - D) = 0 \quad (5)$$

式(5)의 條件을 그림의 形態로 表示해 보면 Fig. 2와 같다.

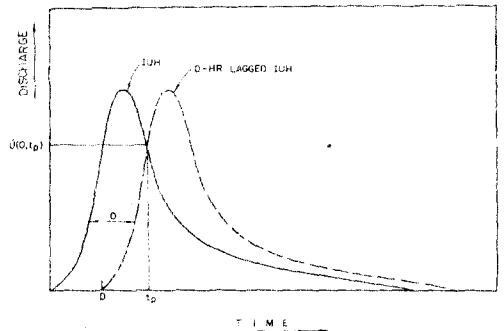


FIG. 2. GRAPHICAL DETERMINATION OF TIME TO PEAK DISCHARGE

持續期間이 D時間인 R<sub>cm</sub>의 有效雨量으로 부터 얻어지는 尖頭流量의 크기는

$$Q_p = R \cdot U(D, t_p) \quad (6)$$

이다.

한편 總雨量과 有效雨量의 差인 損失雨量은 初期損失量(initial loss) IL과 平均浸透率 f로 降雨繼續期間 동안 發生하는 浸透損失量으로 構成되며(Fig. 3參照) 다음 關係가 成立된다.

$$R = D \cdot (I_t - f) \quad (7)$$

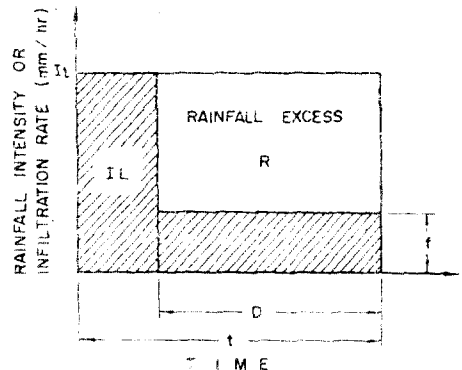


FIG. 3. RAINFALL LOSS AND EXCESS.

여기서 I<sub>t</sub>는 持續期間 t인 設計降雨強度이다.

式(7)을 式(6)에 代入하면

$$Q_p = D(I_t - f) \cdot U(D, t_p) \quad (8)$$

이다.

한편 有效雨量의 持續期間과 各 有效雨量으로 인한 尖頭流量間의 關係는 一般的으로 Fig. 4와 같이 表示된다.

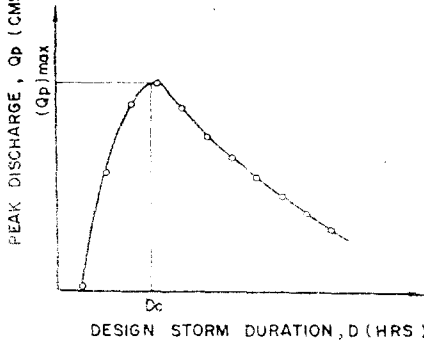


FIG 4 PEAK DISCHARGE VS DESIGN STORM DURATION

Fig. 4의  $D_c$ 가 바로 設計有效雨量的 持續期間이며,  $D_c$ 에 該當하는 最大流量( $Q_{p\max}$ )은 다음 式을 滿足시키는 点이다.

$$\frac{d}{dD} (Q_p) = 0 \quad (9)$$

式(8)을  $D$ 에 關하여 微分하여 式(9)에 適用하면

$$\frac{\frac{d}{dD} \{U(D, t_p)\}}{U(D, t_p)} = \frac{-\frac{d}{dD} \{D(I_f - f)\}}{D(I_f - f)} \quad (10)$$

이 되고, 式(3)을  $D$ 에 關하여 微分한 후  $t = t_p$  로 놓으면

$$\begin{aligned} \frac{d}{dD} \{U(D, t_p)\} \\ = \frac{1}{D} U(o, t_p - D) - \frac{1}{D^2} \{V(t_p) - V(t_p - D)\} \end{aligned} \quad (11)$$

이 된다.

式(5)의  $U(o, t_p) = U(o, t_p - D)$  關係와 式(3)의 關係를 式(11)의 右邊에 代入한 후, 式(11)의 左右邊을  $U(D, t_p)$ 로 나누면

$$\frac{\frac{d}{dD} \{U(D, t_p)\}}{U(D, t_p)} = \frac{1}{D} \frac{U(o, t_p)}{U(D, t_p)} - \frac{1}{D^2} \quad (12)$$

로 式(12)는 式(10)과 同一하다.

式(10)의 右邊은 雨量에 關한 項으로서  $f$ 는 平均浸透率로서 一定한 常數로 假定할 수 있으나,  $I_f$ 는 再規期間  $T$ 의 函數이고,  $D$ 는 相失雨量  $I_L$ 에 따라 變하므로 式(10)의 右邊의 分子를 展開하면

$$-\frac{d}{dD} \{D(I_f - f)\} = -\left\{ D \frac{dI_f}{dD} + (I_f - f) \right\} \quad (13)$$

이다.

式(13)을 式(10)의 右邊에 代入하고 이를 式(12)의 右邊과 갈게 놓고 整理하면

$$\frac{U(o, t_p)}{U(D, t_p)} = \frac{-D \frac{dI_f}{dD}}{(I_f - f)} \quad (14)$$

가 되어, 式(14)의 解가 바로 設計有效雨量的 持續期

間을 決定하게 되며 圖式的으로 解를 求할 수 있다.

### 3. 交點流量比 曲線의 計算

設計有效雨量的 持續期間은 式(14)에 의해 決定되며 左邊은 流域의 單位圖 特性에 의하여 決定되므로 代表流域에 對하여 誘導된 單位流量圖를 利用하여 式(14)의 左邊值를 持續期間  $D$ 別로 求하기로 하였다.

1976年度 IHP 代表流域 調查 結果<sup>(6)</sup>로 얻어진 無心川 代表流域의 1-HR 單位圖의 縱距는 表-1과 Fig. 5에 表示하였다.

表-1 瞬間 單位流量圖의 誘導

時間 (hr)	1-HR 單位圖 縱距 (m <sup>3</sup> /sec)	IHR 縱距 (m <sup>3</sup> /sec)	時間 (hr)	1-HR 單位圖 縱距 (m <sup>3</sup> /sec)	IHR 縱距 (m <sup>3</sup> /sec)	Smoothened IHR 縱距 (m <sup>3</sup> /sec)
0	0	0	23	0.80	0.90	0.70
1	0.10	0.20	24	0.75	0.60	0.65
2	0.30	0.40	25	0.70	0.80	0.71
3	0.50	0.60	26	0.65	0.50	0.58
4	1.20	1.80	27	0.60	0.70	0.55
5	1.90	2.00	28	0.56	0.42	0.50
6	3.00	4.00	29	0.51	0.60	0.47
7	4.10	4.20	30	0.46	0.32	0.44
8	4.70	5.20	31	0.42	0.52	0.40
9	4.90	4.60	32	0.40	0.28	0.37
10	4.70	4.80	33	0.37	0.46	0.34
11	4.10	3.46	34	0.33	1.20	0.33
12	3.10	2.80	35	0.30	0.40	0.30
13	2.60	2.40	36	0.27	0.14	0.27
14	2.20	2.00	37	0.24	0.34	0.24
15	1.80	1.60	38	0.21	0.08	0.21
16	1.60	1.60	39	0.18	0.28	0.18
17	1.40	1.20	40	0.15	0.62	0.15
18	1.20	1.20	41	0.12	0.22	0.12
19	1.20	1.20	42	0.09	0.04	0.09
20	1.00	0.80	43	0.06	0.16	0.06
21	0.90	1.00	44	0.03	0.10	0.00
22	0.85	0.70	45	0.08	0.10	

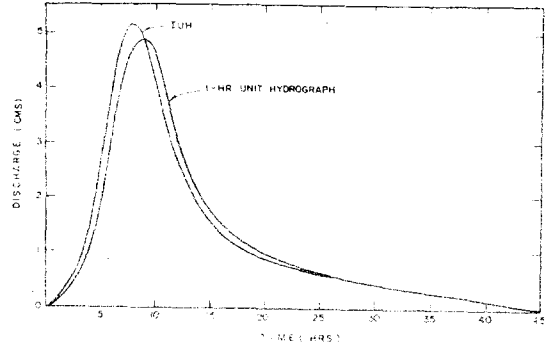


FIG 5 1-HR UNIT HYDROGRAPH AND IUH

한 流域의 瞬間單位圖는 여러가지 方法으로 誘導할 수 있으나 瞬間單位圖로 부터  $D$ -hr 單位圖를 誘導하는 S-Curve 方法<sup>(7)</sup>의 逆原理를 使用하여 計算하였으며, 그 結果를 表-1과 表-2에 収録하였다. 이와같이 計算된 IUH의 縱距는 水文曲線의 下降部(減水曲線)에서 相當한 偏差를 보였으나, Smoothing 方法과 單位圖의 定義(1mm의 直接流出量)에 맞도록 調整하여 流域에 適用할 수 있는 IUH를 Fig. 5에서 처럼 얻었다.

無心川 代表流域의 IUH를 Fig. 2에 定義된 것처럼 D時間만큼 遲滯시켜 個個 遲滯時間에 該當하는 交點  $t_p$ 와 時刻  $t_p$ 에서의 IUH의 縱距值, 即 交點流量  $U(o, t_p)$ 를 求하였다. 時刻  $t_p$ 에 있어서의  $U(o, t_p)$ 는 式(3)으로 부터 알 수 있는 바와 같이 時刻  $t_p$ 까지의 流出容積으로 부터 時刻  $(t_p - D)$ 까지의 流出容積을 뺀 값을 時間 D로 나누면 얻을 수 있다. 그런데 IUH의 어떤 時刻까지의 流出容積은 IUH의 S-Curve 縱距值와 같으므로  $U(D, t_p)$ 는 Fig. 6에서처럼 IUH의 S-Curve를 D時間만큼 遲滯시켜  $t_p$ 時間에 있어서의 S-Curve 縱距差를 求한 후 D로 나누어 주면 된다.

上述한 方法으로 求한 無心川 代表流域의  $U(D, t_p)$ 는 表-2와 같으며, 따라서 式(14)의 左辺值인 交點流量比를 計算할 수 있다.

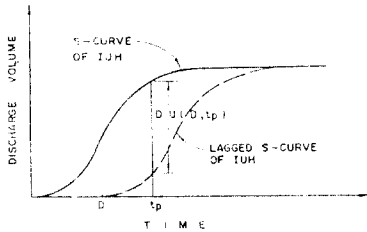


FIG. 6. EVALUATION OF  $U(D, t_p)$

表-2 交點 流量比 曲線의 計算

有効雨量 持續時間 D(hr)	尖頭流量 到達時間 $t_p$ (hr)	$U(o, t_p)$ ( $m^3/sec$ )	$U(D, t_p)$ ( $m^3/sec$ )	$U(o, t_p)$ $U(D, t_p)$
1	8.60	5.11	4.90	1.043
2	9.20	4.92	4.80	1.025
3	9.70	4.58	4.76	0.962
4	10.25	4.06	4.60	0.883
5	10.85	3.55	4.50	0.789
6	11.50	3.08	4.27	0.721
7	12.15	2.62	4.09	0.641
8	12.90	2.20	3.85	0.570

#### 4. 設計降雨曲線의 計算

式(10)의 右辺值와 有効雨量의 持續期間 D間的 關係曲線인 設計降雨曲線은 設計降雨의 特性과 損失雨量의 크기 및 分布에 左右된다.

Fig. 3으로 부터 알 수 있듯이 有効雨量의 持續期間 D는 다음 式으로 表示할 수 있다.

$$D = t \frac{IL}{I_t} \quad (15)$$

따라서 式(14)의 右辺值는 設計降雨의 總持續期間, 設計降雨強度 및 平均浸透率에 의해 有限階差法(finite difference method)으로 計算될 수 있다.

即

$$\begin{aligned} -D \frac{dI_t}{dD} &= -\left( \frac{D_1 + D_2}{2} \frac{I_{t_1} - I_{t_2}}{D_2 - D_1} \right) \\ \frac{-D \frac{dI_t}{dD}}{(I_t - f)} &= \frac{1}{2} (I_{t_1} + I_{t_2} - 2f) \\ &= \frac{(D_1 + D_2)(I_{t_1} - I_{t_2})}{(D_2 - D_1)(I_{t_1} + I_{t_2} - 2f)} \quad (16) \end{aligned}$$

式(16)의 計算을 위해서는 流域의 設計降雨強度(持續期間別)가 必要한데 無心川 代表流域의 경우는 資料期間이 짧아 아직 設計降雨強度의 計算이 되어 있지 않다. 따라서 本 研究에서는 淸州資料(\*)를 使用키로 하였다.

表-3은 1976年度 IHP 報告書의 再現期間別, 持續期間別 降雨量으로 부터 降雨強度를 計算하여 収録한 것이며, Fig. 7은 無心川 代表流域의 降雨強度(I)-持續期間(t)-再現期間(T) 關係를 表示하고 있다.

表-3 西原郡(淸州) 降雨強度(1976) (단위: mm/hr)

再現期間 (T) (Year)	0.25	0.50	0.75	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
10	84.9	66.96	47.81	41.16	33.36	28.76	26.82	23.31	21.5	20.06
50	99.79	64.04	36.47	36.15	29.43	23.97	20.26	17.57	15.42	13.72
52	112.82	75.29	51.33	32.56	32.63	26.71	22.09	19.75	17.41	15.93
100	119.76	83.02	57.77	58.46	47.32	30.11	26.31	23.04	20.26	18.44
再現期間 (T) (Year)	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0
10	18.89	17.84	17.02	16.28	15.61	15.03	14.50	14.01	13.57	13.14
50	22.51	21.12	19.81	19.22	18.44	17.75	17.12	16.56	16.06	15.61
52	24.14	22.83	21.73	20.77	19.93	19.17	18.50	17.88	17.31	16.83
100	26.78	25.36	24.33	23.67	23.18	22.70	22.25	21.81	21.37	20.94

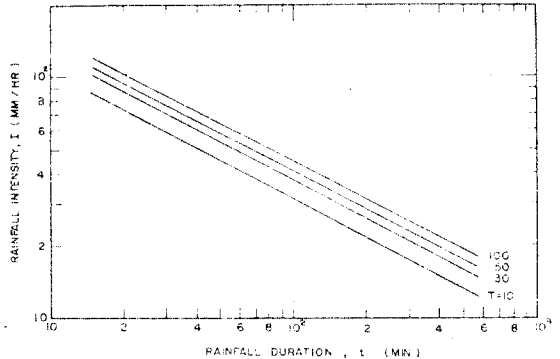


FIG. 7. RAINFALL INTENSITY-DURATION-FREQUENCY (MUSIM CHEON)

이들 關係를 回帰分析(regression analysis)에 의하여 表示하면 式(17)과 같다.

$$I = \frac{2.9059 T^{0.1813}}{t^{0.8187}} \quad (17)$$

한편 初期降雨損失量(IL)과 平均浸透率(f)의 決定(\*)은 流域의 土壤條件 및 先行降水等 여러 因子에 따라 適切하게 決定되어야 하였으나, 本 流域의 경우는 아직 具體的인 研究가 되어 있지 않으므로 流域의 規模나 土壤條件으로 보아 比較的 適切하다고 判斷되는 두가지 경우 即,  $IL = 5mm$ ,  $f = 5mm/hr$ 의 경우와  $IL = 10mm$ ,  $f = 5mm/hr$ 의 두 경우를 包含하는 몇가지 경우를 考慮

表-4 降雨曲線計算例

再現期間 T=10年, 初期損失雨量 L=10mm, 終期浸透能 f=5mm/hr

持續期間 t(hr)	降雨強度 It(mm/hr)	有効雨量時間 D(hr)	$\bar{D} = \frac{1}{2}(D_1 + D_2)$ (hr)	$I_t - I_1$ (mm/hr)	$I_t + I_1 - 2f$ (mm/hr)	$D_1 + D_2$ (hr)	$D_1 - D_2$ (hr)	$\phi^*$
0.25	64.4881	0.1316	0.2311	0.4621	25.4963	133.4792	0.1988	0.4439
0.50	36.9917	0.3305	0.4357	0.8713	11.1800	96.8034	0.2104	0.4764
0.75	47.6117	0.5408	0.6490	1.2981	6.6222	79.0012	0.2164	0.5029
1.00	41.1895	0.7572	0.9788	1.9577	7.8062	64.5728	0.4432	0.5339
1.50	33.3833	1.2004	1.4264	2.8527	4.6238	52.1429	0.4518	0.5599
2.00	28.7596	1.6523	1.8810	3.7620	3.1407	44.3784	0.4574	0.5821
2.50	25.6189	2.1097	2.3403	4.6806	2.3098	38.9280	0.4613	0.6020
3.00	23.3091	2.5710	2.8031	5.6063	1.7897	34.8285	0.4643	0.6204
3.50	21.5194	3.0353	3.2667	6.5373	1.4388	31.6001	0.4667	0.6378
4.00	20.0806	3.5020	3.7363	7.4727	1.1890	28.9722	0.4687	0.6544
4.50	18.8914	3.9707	4.2058	8.4116	1.0038	26.7794	0.4703	0.6703
5.00	17.8878	4.4410	4.6768	9.3536	0.8621	24.9134	0.4717	0.6862
5.50	17.0257	4.9127	5.1491	10.2982	0.7507	23.3007	0.4729	0.7016
6.00	16.2750	5.3856	5.6225	11.2451	0.6613	21.8887	0.4740	0.7168
6.50	15.6137	5.8595	6.0970	12.1940	0.5883	20.6392	0.4749	0.7318
7.00	15.0254	6.3345	6.5723	13.1447	0.5277	19.5231	0.4758	0.7468
7.50	14.4977	6.8102	7.0485	14.0970	0.4769	18.5185	0.4765	0.7618
8.00	14.0208	7.2868	7.5254	15.0508	0.4337	17.6080	0.4772	0.7767
8.50	13.5872	7.7640	8.0029	16.0059	0.3966	16.7778	0.4779	0.7917
9.00	13.1906	8.2419						

하였다.

$$\phi = (D_1 + D_2) / (2D) \times (I_t - f)$$

이들 경우에 대하여 式(16)의 方法으로 無心川 代表流域에 대한 設計降雨曲線 作成에 必要한 값을 再現期間 10年, 30年, 50年, 및 100年에 대하여 計算하였으며, 計算例가 表-4에 表示되어 있다.

### 5. 設計有效雨量의 持續期間 決定

式(14)의 左邊과 右邊 사이에 等式이 成立하며, 이 等式 關係를 滿足시키는 有效雨量의 持續期間이 바로 구하고자 하는 持續期間  $D_c$  (Fig. 4. 參照)이다.

따라서 이 條件은 第3節에서 求한 交點流量比 曲線 (hydrograph curve)과 第4節에서 求한 設計降雨曲線 (rainfall curve)을 同一 座標上에 그려 그 交點이 表示하는 有效雨量의 持續期間을 求하면 되는 것이다.

表-2의 計算結果를 線方眼紙에 表示한 것이 Fig. 8~Fig. 11에 表示된 無心川 流域의 交點流量比 曲線이며, 같은 方眼紙上에 表-4에 計算된 節次에 의해 4個 再現期間別(10, 30, 50, 100年)로 設計降雨 曲線을 計算하여 그 結果를 曲線의 形態로 表示하였다.

交點流量比 曲線과 再現期間別 設計降雨曲線의 交點으로 定義되는 設計有效雨量의 持續期間( $D_c$ )은 圖

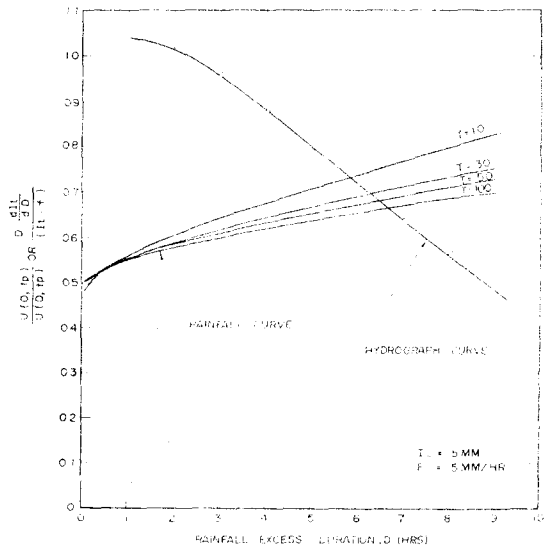


FIG. 8. IN TERMINATION OF CRITICAL DURATION.

線의 方程式을 求하여 聯立으로 求할 수도 있고, 그림으로 부터 그 값을 읽을 수도 있으며, 그 結果가 表-5와 表-6에 收錄되어 있다.

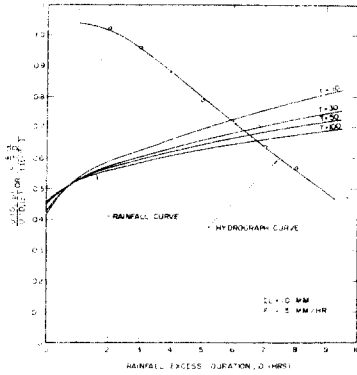


FIG. 4 DETERMINATION OF CRITICAL DURATION

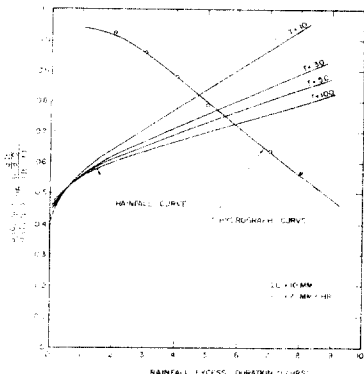


FIG. 5 DETERMINATION OF CRITICAL DURATION

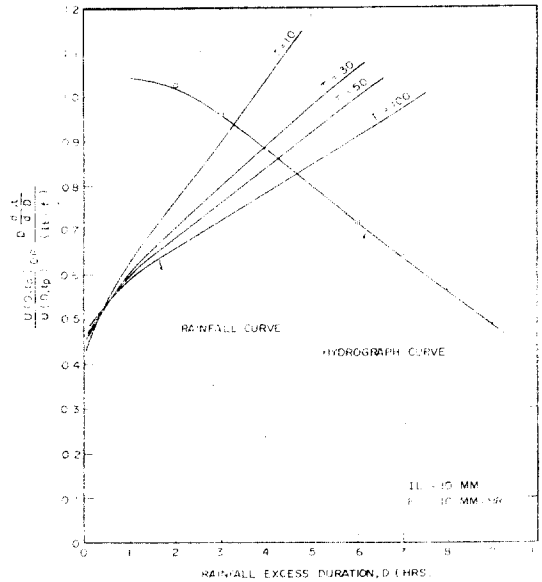


FIG. 6 DETERMINATION OF CRITICAL DURATION

이들 表에서 알 수 있는 바와 같이, 有効雨量の 設計 持續期間은 再現期間에 따라 길어질 뿐만 아니라, 初期 損失量을 크게 잡은 경우 (IL = 10 mm)가 작게 잡은 경우 (IL = 5 mm)보다 약간 더 길어짐을 알 수 있으나, 初期 損失量の 크기는 持續期間에 그다지 큰 影響을 미치지 않는 것으로 나타났다. 한편 平均浸透率을 작게 잡은 경우 (f = 5 mm/hr)가 크게 잡은 경우 (f = 10 mm/hr)보다 有効雨量の 持續期間은 훨씬 크게 나타나, 平均浸透率의 持續期間에 미치는 影響은 매우 큰 것으로 나타났다.

6. 結 論

瞬間單位流量圖 理論을 適用하여 解析的 方法으로 有効雨量の 持續期間을 決定하는 方法을 實際流域인 無心川 代表流域에 適用한 結果, 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 有効雨量の 持續期間을 試行錯誤의 複雜한 過程을 거치지 않고 解析的으로 求할 수 있다.
2. 初期降雨損失量은 持續期間에 큰 影響을 미치지 않는다.
3. 平均浸透率의 크기는 持續期間에 큰 影響을 미치므로 流域의 平均浸透率 決定에 注意을 要한다.
4. 流域의 持續期間別 設計降雨強度, 初期降雨損失量 및 平均浸透率 등의 資料不足으로, 限定된 값을 提示하지 못하였고 이른바 試行錯誤法과도 比較를 못하였으나 持續期間 決定에 有用한 方法으로 思料된다.

浸透條件		再現期間(年)			
		10	30	50	100
f = 5 mm/hr	IL = 5 mm	5.88	6.34	6.52	6.75
	IL = 7 mm	5.90	6.37	6.55	6.78
	IL = 10 mm	5.94	6.41	6.59	6.82
	IL = 12 mm	5.97	6.44	6.63	6.85

表一 設計有効雨量の 持續時間決定(初期損失量變化) (單位: hr)

IL = 10 mm	再現期間(年)		10	30	50	100
	f = 3 mm/hr	7.08	7.12	7.11	7.55	
		5.95	6.41	6.58	6.82	
	f = 7 mm/hr	4.71	5.34	5.61	5.94	
		3.32	3.94	4.25	4.67	

表二 設計有効雨量の 持續時間決定(平均浸透率變化) (單位: hr)

參考文獻

1. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, "Hydrology-Watershed Planning," in National Engineering Handbook, Section 4, Part 1, Government Printing Office, Washington, D. C., 1964.
2. Chow, V. T., "Hydrologic Design of Culverts," Journal of Hydraulics Div., ASCE Vol. 88, No. HY2, 53-55, 1962
3. Pullen, R. A., "Synthetic Unit Hydrographs for South Africa," Report No. 3/69, Hydrol. Res. Unit, University of Witwatersrand, Johannesburg, South Africa, December, 1969
4. Cordery, I. and S. N. Webb, "Flood Estimation in Eastern New South Wales--- A Design Method," Transaction, Inst. Eng. Australia, CE16(1), 87-93, 1974
5. Dooge, J. C. I., "A general theory of the Unit Hydrograph," Journal, Geophysical Research, 64(2), 241-256, 1959
6. 建設部, 國際水文開発計劃 代表流域研究調査 報告書, 1976.
7. Chow, V. T., "Hydrologic Determination of Waterway Areas for the Design of Drainage Structures in Small Drainage Basins," Engineering Experiment Station Bulletin No. 462, University of Illinois, Urbana, 1962
8. 李淳赫, "再現期間別 確率降雨強度式 算定에 關한 水文統計學的 考察 (淸州地方을 中心으로)" 韓國農工 會誌 第 17 卷 2 號, 1975.
9. 建設部, 國際水文開發計劃 代表流域研究調査 報告書, 1978.