

<論 文>

中小河川流域에 있어서 有效降雨量 및 設計水文曲線의
決定에 關한 研究

— 특히 SCS 方法을 中心으로 —

Determination of Effective Rainfall and Design Hydrograph in Small River Catchment

金 相 仁*
Sang-In Kim

李 舜 鐸**
Soon-tak Lee

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine the methods of estimation, comparing U.S. SCS method and ϕ -index with effective rainfall.

And also comparison was made among SCS method, Chow method and Mockus method as to the peak discharge of design storm hydrograph by small river basin.

Hydrological data of the Shin river basin which was used in this study and the results of study are as follow:

- 1) As a result of applying the SCS method to determine the effective rainfall out of total rainfall, it turned out that the average CN of the basin as obtained by the analysis of hydrologic soil-cover complex was varied as follows; AMC-I was 27.9%, AMC-II 16.4%, AMC-III 8.1% less than the value given by SCS method using discharge measurement.
- 2) The comparison of effective rainfall by the ungauged SCS method with that of gauged ϕ -index method showed that the ϕ -index method showed that the ϕ -index method gives large value by 4.7% to those given by hydrograph. The result of analysis by the SCS method resulted in great difference from discharge measurement.
- 3) The comparison of SCS method, Chow method, and Mockus method showed that dimensionless hydrograph of SCS method and Chow method were close to the peak discharge of the gauged unit hydrograph, while the other methods gave far different results.
- 4) Attempts were made, for a better adaptation to the Shin river basin, to introduce lag time formula constant of dimensionless hydrograph of the SCS method by using the peak discharge of the gauged flow hydrograph.

<要 旨>

本 研究는 中小河川流域에 있어서 美國土壤保存全局(U.S. Soil Conservation Service)의 SCS方法과 ϕ -Index 方法과를 比較하면서 有效雨量을 算定하고 또한 設計水文曲線의 尖頭流量을 算定하는데 目的을 두고 있다.

洛東江流域에 속한 新川流域은 UNESCO의 주관아래 國際水文開發計劃 代表試驗流域으로 채택되었던 流域으로서 그 重要性이 크다고 생각하여 SCS方法의 適用을 위하여 均壤群의 分類에 따른 土地利用 및 處理

* 正會員, 浦項實業專門大學 助教授

**本學會理事, 嶺南大 工大教授, 工博

狀態와 土壤의 分類, 土壤의 種類 등을 파악하여 流出數를 求하였다. 그리고 主要豪雨의 總雨量-有效雨量關係資料에 의한 平均流出數와 比較해본 結果 SCS方法의 流出數가 적게 나타났으며, 新川流域의 5個觀測所의 降雨資料로 부터 ϕ -Index法에 의한 有效雨量과도 比較하였다.

한편 設計水文曲線의 尖頭流量은 SCS法, Chow法, Mockus法과 比較해본 結果, SCS法의 無次元水文曲線과 Chow法이 實測에 의한 單位圖의 尖頭流量과 가까운 適合性을 보여 주었다.

1. 序 論

國際水文開發計劃 代表試驗流域이었던 新川流域은 大邱市에 인접하고 있는 流域으로서 流域의 有效雨量과 設計水文曲線에 관한 研究가 필요하다고 思料된다.

일반적으로 流域에 있어서 有效雨量算定方法에는 一定比損失雨量法, 總雨量 및 總雨量損失雨量曲線法, 浸透能曲線算定法, SCS法⁽¹⁾ ϕ -Index⁽²⁾法등이 있으며, 設計水文曲線算定法에는 單位圖의 개념에 기초를 둔 美國土壤保全局(U.S. Soil Conservation Service)法⁽³⁾ Chow方法⁽⁴⁾, Gamma 함수로 水文曲線型을 채택한 Wu의 方法, Reich 方法, Mockus 方法⁽⁵⁾ 및 Minshall 方法등이 있으나 本 研究에서는 SCS法과 ϕ -Index法에 의한 有效雨量比較 검토와 SCS方法, Chow方法, Mockus方法에 의한 設計水文曲線에 관한 比較檢討를 하고자 한다.

2. 有效雨量의 決定

2.1. SCS法에 의한 有效雨量의 決定

1) SCS의 總雨量-有效雨量關係模型, 美國土壤全局(U.S. Soil Conservation Service)은 한 流域에 내리는 總雨量과 有效雨量間의 關係를 다음과 같은 式으로 表示하였다.

$$P_e = \frac{(P-I)^2}{(P-I)+S} \dots\dots\dots(1)$$

여기서 p 는 豪雨別總雨量(mm), I 는 降雨初期의 損失(mm), S 는 流域의 最大潛在保留水量과 初期損失의 合(mm), P_e 는 直接流出量에 해당하는 有效雨量

(mm)이다. 式 (1)의 初期損失 I 는 流出이 시작되기 전에 생기는 遮斷이라든지 浸透, 地面貯留 등을 포함하며 S 와는 다음과 같은 關係를 가진다고 가정하였다.

$$I = 0.2S \dots\dots\dots(2)$$

式 (2)를 式 (1)에 代入하면

$$P_e = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \dots\dots\dots(3)$$

式 (3)은 SCS에서 사용되고 있는 總雨量과 有效雨量間의 關係式이다. 式 (3)의 S 값은 先行土壤含水條件(Antecedent Soil Moisture Condition, AMC)에 따라 상이한 값을 가질것이므로 SCS에서는 先行降水量의 크기에 따라 Table 1과 같이 定性的 및 定量的으로 分類하였다.

SCS는 總雨量中の 直接流出分(即 有效雨量)에 미치는 S 의 영향을 간접적으로 表示하는 流出數, CN(runoff number)를 다음과 같이 定義하였다.

$$CN = \frac{1000}{0.0394S + 10} \dots\dots\dots(4)$$

2) 有效雨量算定을 위한 分析

한 流域의 土壤特性은 降雨로 인한 流出過程에 직접적인 영향을 미친다. 즉 土壤의 性質에 따라 浸透能이 상이하므로 SCS는 土壤의 浸透能을 基準으로 4個의 土壤群으로 分類하였다.

우리나라 農村振興廳에서 定義한 土壤名別性質⁽⁶⁾은 排水能을 量的으로 表示하지 않았기 때문에 이것을 SCS 分類基準에 맞추어 1:25,000地形圖로 부터 4個의 土壤群에 대한 土壤被覆型別分布는 Fig. 1,2와 같다.

流域의 平均流出數는 Fig. 1,2의 土地利用狀態別 土壤型別面積을 加重因子로 삼아 土壤被覆型別 平均流出數를 土壤型別 및 土地利用狀態別로 各各 平均함으로써

Table 1. Classification of Antecedent Soil Moisture condition

Amc Group	Qualitative Analysis	Quantitative Analysis	
		5days Antecedent Precipitation, P_5	
		Dormat season	Growing Season
AMC-I	流域의 土壤이 대체로 건조상태에 있어서 流出率이 대단히 낮은 狀態	$P_5 < 12.70$	$P_5 < 35.56$
AMC-II	流出率이 보통인 狀態	$12.70 < P_5 < 27.94$	$35.56 < P_5 < 53.34$
AMC-III	流域의 土壤이 水分으로 거의 포화되어 있어서 流出率이 대단히 높은 狀態	$P_5 > 27.94$	$P_5 > 53.34$

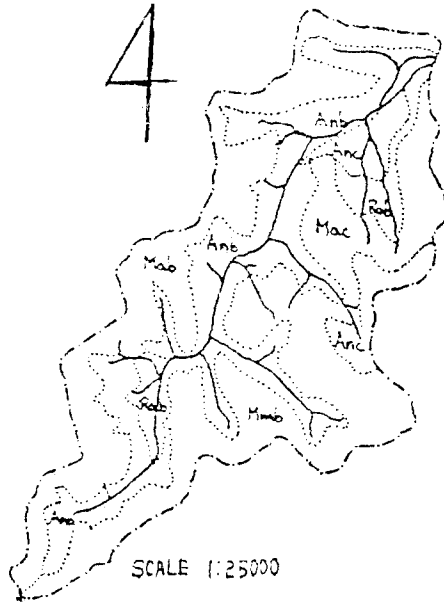


Fig. 1. Soil Map

平均流出數를 求할 수 있고, Table 2의 流出數는 AMC-Ⅱ條件下의 값이므로 先行降雨量의 크기가 다른

AMC-Ⅰ과 AMC-Ⅲ條件下의 값은 Table 4과 같다.
(단, 산림지 流出數는 "IHP대표유역연구보고서" 참조 1976 건설부)

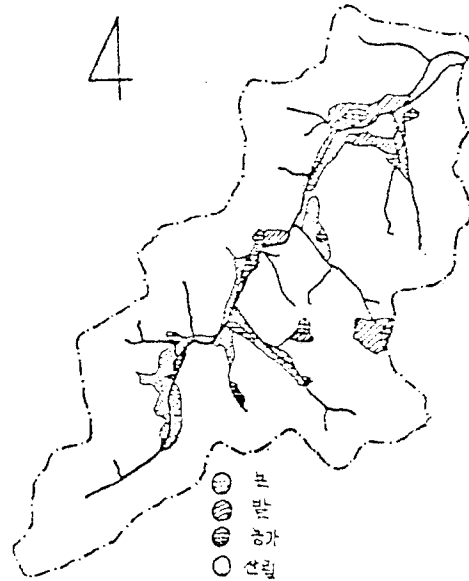


Fig. 2. Distribution of Land Use

Table 2. The Average Runoff Number

Basin	Soil Use State	Soil Type								Total Area (km ²)	Average CN Under AMC-Ⅱ
		A		B		C		D			
		AREA	CN	AREA	CN	AREA	CN	AREA	CN		
Shin River	Row Crops	0.4	67	0.685	78	4.885	85	0	89	5.97	82.99
	Small Grains	0.065	63	0.335	75	1.21	84	0	87	1.61	81.28
	Farm Steads	0.115	59	0.18	74	1.165	82	0	86	1.46	79.20
	Woods	18.265	56	1.505	75	13.83	86	0	91	33.60	69.20
	Basin Total or Average	18.845		2.705		21.09				42.64	71.9

Table 3. Determination of Average CN by Storm

Date	Division	Total Rainfall P(mm)	Effective Rainfall P _e (mm)	5 Days Antecedent Precipitation P _s (mm)	AMC Classification	CN for AMC	CN under AMC-Ⅱ
78. 6. 9~10		83.8	9.1	9.14	I	57.3	75.3
6. 24~25		32.6	1.24	7.89	I	72.7	86.7
7. 21		38.88	5.2	12.72	I	76	89
Basin Average Runoff Number							83.7

Table 4. Comparison of Average CN

Basin	Method	SCS Soil-Cover Complex Analysis			Analysis of Observed Rainfall		
		I	Ⅱ	Ⅲ	I	Ⅱ	Ⅲ
Shin River	AMC	52.9	71.9	86	67.7	83.7	93.0

SCS의 水文學的 土壤被覆型에 의해 결정된 流域의 平均流出數와 實測值平均流出數를 比較하기 위하여 資料期間동안의 豪雨를 Table 3과 같이 분석하였다.

SCS의 土壤被覆型에 의한 AMC別 平均流出數와 實測資料에 의한 平均流出數의 比較는 Table 4와 같다.

위의 結果에서 볼 때 SCS의 土壤被覆型에 의해 결정된 AMC別 平均流出數는 實測資料에 의한 平均流出數보다 AMC-I 은 27.9%, AMC-II 는 16.4%, AMC-III 는 8.1% 정도 적다는 사실을 알 수 있다. 따라서 SCS의 基準를 使用하여 한 流域에 내린 總雨量으로부터 有效雨量을 구하고자 할 경우에는 SCS의 流出數를 上述한 百分率(%) 만큼 AMC別로 크게하여 그에 해당하는 有效雨量을 結定해야 함이 좋을 것으로 해석된다.

2.2 ϕ -Index法에 의한 有效雨量의 決定

1) ϕ -Index法

ϕ -Index法은 浸透指數法에 의한 浸透能推定의 한 方法으로서 浸透指數(Infiltration Index)란 一般적으로 豪雨期間 동안의 總浸透能을 豪雨의 持續期間으로 나눈 平均浸透率을 意味하여 實際의 浸透能은 降雨가 持續됨에 따라 指數函數曲線을 따라 減少되기 때문에 平均浸透率을 使用하면 降雨初期에는 실제보다 너무

작은 浸透率이 되며 降雨終期에 대해서는 지나치게 큰 浸透率이 된다. 따라서 浸透數法은 土壤의 含有水分이 대체로 크거나 혹은 豪雨의 強度가 크고 持續期間이 降雨初期에 浸透率이 지의 一定하게 되는 豪雨의 경우 浸透能을 算定하는데 적합하다. 이 方法은 浸透能의 時間에 따른 變化를 고려하지 않는 弱點이 있어 近似法이라 할 수 있지만 큰 流域에 어떤 豪雨가 發生했을 때 그 流域으로부터 예상되는 流出量을 概略적으로 算定하기에 편리한 方法이다.

2) 有效雨量算定을 위한 分析

流域의 總降雨(P)가 有效雨量(P_e)에 대한 ϕ 의 근사치 $= (P - P_e) / \text{Time} < \text{Storm duration}$ 이므로 여기서 각 觀測所의 降雨形態로 부터 임의의 ϕ 값 등을 減하여 얻은 값에서 流域面積에 대한 Thiessen係數를 곱하여 얻은 結果는 Table 5, 6과 같으며 각 ϕ 에 대한 總有效雨量間의 관계 곡선은 Fig. 3, 4와 같다.

降雨資料로 부터 Fig 3.4의 ϕ 값을 이용한 有效雨量은 9.6mm($\phi=83.8\text{mm}$)와 5.4mm($\phi=38.88\text{mm}$)이다.

2.3 結果의 比較檢討

水文曲線에 의한 實測值를 中心으로 SCS方法과 ϕ -Index方法의 有效雨量은 Table 7과 같다.

Table 5. Effective Rainfall Calculation For ϕ

Stations	Thiessen Coef.	$P_e + \text{Thiessen Coefficient}$		
		$\phi=3$	$\phi=6$	$\phi=9$
S ₁	0.05	2.49	1.26	0.18
S ₂	0.10	5.07	2.60	0.57
S ₃	0.18	7.78	3.42	0.40
S ₄	0.15	7.61	3.86	0.80
S ₅	0.52	23.50	10.50	0.68
Total P_e for Each ϕ	1.00	46.45	21.64	2.63

Table 6. Effective Rainfall Calculation for ϕ

Stations	Thiessen Coef.	$P_e \times \text{Thiessen Coefficient}$		
		$\phi=5$	$\phi=10$	$\phi=15$
S ₁	0.05	0.89	0.525	0.275
S ₂	0.10	2.02	1.18	0.68
S ₃	0.18	3.24	1.908	1.008
S ₄	0.15	2.82	1.65	0.855
S ₅	0.52	10.192	5.668	3.068
Total P_e for Each ϕ	1.00	19.162	10.886	5.886

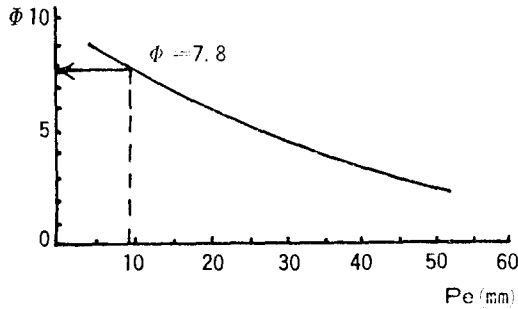


Fig. 3. ϕ -Index Curve ($P=83.8\text{mm}$)

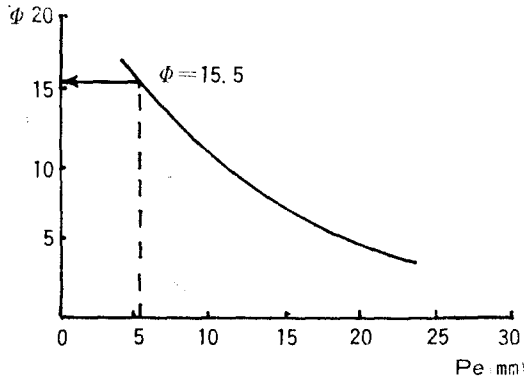


Fig. 4. ϕ -Index Curve ($P=38.88\text{mm}$)

Table 7. Effective Rainfall Comparison

Division Storm (mm)	SCS Method	ϕ -Index Method	Observed Hydrograph
83.8	5.7mm	9.6mm	9.1mm
38.88		5.4mm	5.2mm

위의 결과에서 比較해 볼 때 ϕ -Index法에 의한 값은 水文曲線에 의한 값과 거의 같으나, SCS方法의 결과는 다소 낮음이 밝혀졌다. 그리고 SCS方法의 降雨 38.88mm에 대한 有效降雨은 式 (3)의 p 가 0.2s보다 적으므로 有效雨量算定理論에 不合理하다.

3. 設計水文曲線의 分析

3.1 SCS方法

1) 無次元水文曲線에 의한 方法

合成單位圖에 의해서 美國土壤保全局에서 개발된 方法으로 無次元水文曲線에 기초를 두었다. 無次元水文曲線은 여러 流域의 많은 單位圖를 分析한 結果이며 尖頭時間(T_p)과 尖頭流量(Q_p)은 아래와 같이 表示하였다.

$$T_p = \frac{D}{2} + t_l \dots\dots\dots (5)$$

여기서 T_p 는 降雨시작시간으로부터 尖頭流量까지의 時間(hr), D 는 有效降雨持續時間(hr), t_l 는 降雨증강으로부터 尖頭流量까지의 遲滯時間(hr)이다.

$$Q_p = \frac{484 \cdot A \cdot P_e}{T_p} \dots\dots\dots (6)$$

여기서 Q_p 는 尖頭流量(cfs), A 는 流域面積(m_i^2) P_e 는 有效降雨(in)이며, 遲滯時間(t_l) 方程式은

$$t_l = \frac{l^{0.8}(S+1)^{0.7}}{1900Y^{0.5}} \dots\dots\dots (7)$$

여기서 t_l 은 遲滯時間(hr), l 은 流路延長(f_l), S 는 最大保有狀態(in), Y 는 流域平均傾斜이다.

2) 水文曲線群에 의한 方法

計劃洪水量水文曲線(design storm hydrograph)은 水文曲線群(Hydrograph family)으로부터 單位圖選定에 의하여 다음과 같이 合成되어졌다.

$$T_p = 0.7T_c$$

$$\text{rev. } T_p = T_o / (T_o / T_p) \text{ rev.}$$

$$Q_p = 484 A / \text{rev. } T_p$$

$$t = (t/t_p) \cdot (\text{rev. } T_p) \dots\dots\dots (8)$$

$$q = (q_c/q_p) \cdot (P_e \cdot Q_p) \dots\dots\dots (9)$$

여기서 A 는 流域面積(m_i^2), q 는 合成된 水文曲線量(cfs), q_c 는 $P_e=1\text{in}$ 에 대한 水文曲線量, Q_p 는 $P_e=1\text{in}$ 에 대한 水文曲線尖頭流量, P_e 는 有效雨量(in), rev. T_p 는 조정된 尖頭時間(hr), (T_o/T_p) rev.는 Table 8의 조정된 率이며 T_p 는 尖頭時間이다. 有效降雨持續時間(T_o)과 尖頭時間(T_p)의 率에 따라 Table 8에 5個群 單位圖(Five Families of Unit hydrograph) 表를 만들었으며 土壤群은 流出數와 降雨에 의해서 決定된다.

Table 8. Hydrograph Families and T_o/T_p Ratios for Which Dimensionless Hydrograph Ratios

Hydrograph Family	T_o/T_p											
	1	1.5	2	3	4	6	10	16	25	36	50	75
1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

3.2 Chow方法

Chow의 理論의인 기초는 單位圖의 基本 개념을 내포하고 있으며 작은 流域으로부터 尖頭流量決定方法에 대하여 實際的인 方法을 개발하였다. 排水流域으로부터 直接尖頭流量算定은 單位圖의 尖頭流量과 SCS의

有効雨量算出로 부터 算定하였다.

$$Q_p = P_e \cdot P \dots\dots\dots(10)$$

여기서 P_e 는 有効雨量 (in)이며, P 는 有効降雨 t 時間에 대한 直接流出量 (cfs/in)의 單位圖이다. 1in의 有効雨量에 대하여 A acre의 基本流域으로 부터 直接流出量은 $1.008A/t \cdot \text{cfs}$ 와 같다. 持續時間(t)에 대한 單位圖의 尖頭流量은 平均流量的 Z 인 數로써 나타낼수 있다

$$P = \frac{1.008 \cdot A \cdot Z}{t} \dots\dots\dots(11)$$

여기서 Z 는 침투減少인수(Peak-reduction factor)라 부르며 尖頭減少는 遲滯時間(t_l)에 관계 되어 지므로 $\frac{t}{t_l}$ 의 관계로 부터 Z 인수를 구할 수 있다.

式 (10)과 式 (11)로 부터 尖頭流量(Q_p)은 다음과 같다.

$$Q_p = \frac{1.008 \cdot P_e \cdot A \cdot Z}{t} \dots\dots\dots(12)$$

3.3 Mockus의 無次元水文曲線에 의한 方法

合成單位圖에 대한 流域의 無次元水文曲線을 이용한 尖頭流量은 다음과 같다.

$$Q_p = \frac{484 \cdot A \cdot P_e}{0.5D + 0.6T_e} \dots\dots\dots(13)$$

여기서 Q_p 는 尖頭流量(cfs), k 는 常數 484, A 는 流域面積(m^2), P_e 는 有効雨量(in), D 는 有効降雨持續時間(hr), T_e 는 流速時間(/hr)이며, 水文曲線의 尖頭流量에 대한 基本方程式은 다음과 같다.

$$Q_p = \frac{K \cdot A \cdot P_e}{T_p} \dots\dots\dots(14)$$

本 研究流域에서는 降雨持續時間을 알 때 尖頭流量을 算定해 보고져 한다.

3.4 分析結果의 比較檢討

本 新川流域에 分析된 基本資料는 流域面積이 $42.64km^2$, 流路延長 14.5km, 流域傾斜 8.6%인 降雨觀測點이 5個인 流域에 대하여 實測에 의한 單位圖의 尖頭流量을 中心으로 SCS方法, Chow方法, Mockus方法 등을 Fig. 5와 Table 9에서 8時間單位圖에 대하여 比較하였다.

위의 結果에서 SCS의 無次元水文曲線에 의한 方法이 實測에 의한 單位圖의 尖頭流量과 비슷하므로 이것을 新川流域에 적용하기 위하여 式 (7)의 SCS遲滯時間常數 $Y^{0.5}$ 에 대한 1900을 修正하고져 한다. 그래서 實測에 의한 直接流出水文曲線의 尖頭流量을 이용하여 新川流域의 常數를 誘導하였으나 많은 資料에 의한 修正이 必要하다고 思料된다. 卽 式 (7)은 다음 식으로 修正된다.

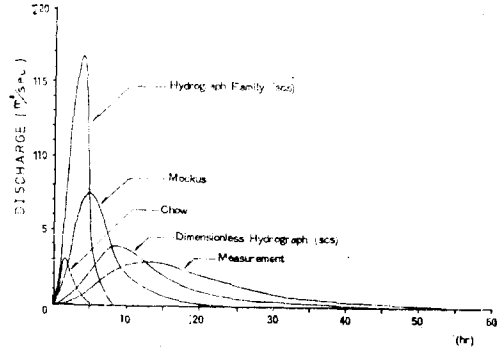


Fig. 5. 8-hr Unit Hydrograph

Table 9. Comparison of Unit Hyrdograph

Methods		Peak Ordinate of 8-Hr. U.H.
Unit Hydrograph by Observed		2.79
SCS Method	Dimensionless Hydrograph	3.92
	Hydrograph Family	17.07
Chow Method		3.10
Mockus Methodby dimensionless Hyorograph		7.27

$$t_l = \frac{l^{0.8}(s+1)^{0.5}}{1096Y^{0.5}}$$

4. 結 論

以上과 같은 中小河川流域에 有効雨量 및 設計水文曲線에 관한 研究結果 다음과 같은 結論을 얻을 수 있다.

1. 降雨量으로 부터 有効雨量을 決定하기 위하여 SCS方法을 적용해 본 結果 水文學的 土壤被覆型의 分析에 의해 얻은 流域平均流出數는 流出實測值를 사용하여 SCS模型에서 구한 값보다 AMC-I은 27.9%, AMC-II는 16.4%, AMC-III는 8.1% 적은 값이 誘導되었다.

2. 未計劃된 SCS方法에 의한 有効雨量과 實測值에 의한 ϕ -Index方法에 의한 有効雨量을 比較해 본 結果 ϕ -Index法의 값은 水文曲線에 의한 값보다 4.7%정도 크게 나타났으며, SCS方法의 分析結果는 實測值와 많은 차가 있는 것으로 나타났다.

3. SCS方法, Chow方法, Mockus方法 등과의 比較에서 SCS方法의 無次元水文曲線과 Chow方法이 實測에 의한 單位圖의 尖頭流量과 근사하고 다른 方法은 많은 차이가 있는 것으로 나타났다.

4. SCS方法의 無次元水文曲線의 遲滯時間算定 公式

常數를 實測에 의한 流出水文曲線의 尖頭流量結果를 이용하여 新川流域의 常數를 算定하여 보았다.

參考文獻

1. U.S. Soil Conservation Service "Hydrology", Supplement A. Section 4 of Engineering Handbook, Dept of Agriculture, 1957.
2. Average Storm Loss Rate Assignment, The University of New South Wales School of Civil Engineering 1960.
3. Introduction to Hydrology, by Warren, Viesman Jr. and Others, p.616~p.637 1977.
4. Chow, V.T., Handbook of Applied Hydrology New York McGraw Hill, 1964, pp.21-28 to 46 and 15-22 to 25
5. Mockus, Victor Use of Storm and Watershed Characteristic in Synthetic Hydrology analysis and application, U.S., Soil Conservation Service, 1957.
6. Kirpick, Z.P., Time of Concentration of Small Agricultural watersheds, Civil Eng. (N.Y.) Vol. 10, No. 6, p.362 June, 1974.
7. Victor Mockus, "Hydrologic Soil Groups, Land use and Treatment Classes, Hydrologic Soil Cover Complexes" Chapter. 7, 8, 9 on NEN, SCS, 1972.
8. Dooge James C.I., "A General Theory of the Unit Hydrograph." Journal of Geophysical Research, vol. 64, No. 2, 1959, p.241~256.
9. 農村振興廳 植物環境研究所, "概略土壤圖" 서울특별시 및 京畿道 忠清北道編 韓國土壤調查事業機構 1971.
10. 建設部, 國際水文開發計劃代表試驗流域 研究調查報告書, 1975, 12.
11. 尹龍男, 水文學, 淸文閣, 1975.