

<研究論文>

# SCS方法 및 回歸分析에 依한 有效 降雨量 決定

Determination of Effective Rainfall by US SCS Method and Regression Analysis

鮮 于 仲 皓\*

Sonu, Jungho

尹 龍 男\*\*

Yoon, Yong Nam

沈 淳 輔\*\*\*

Shim, Soon Bo

李 舜 鐸\*\*\*\*

Lee, Soon Tak

## ABSTRACT

The analysis performed here is aimed to increase the familiarity of hydrologic process especially for the small basins which are densely gaged. Kyung An and Mu Shim river basins are selected as a representative basin according to the criteria which UNESCO has established back in 1964 and being operated under the auspice of Ministry of Construction. The data exerted from these basins is utilized for the determination of the characteristics of precipitation and runoff phenomena for the small basin, which is considered as a typical Korean samll watershed.

The methodology developed by Soil Conservation Service, USA for determination of runoff value from precipitation is applied to find the suitability of the method to Korean River Basin. The soil cover complex number or runoff curve number was determined by considering the type of soil, soil cover, land use and other factor such as antecent moisture content. The averag values of CN for Kyung An and Mushim river basins were found to be 63.9 and 63.1 under AMC II, however, the values obtained from soil cover complex was less than those from total precipitation and effective precipitation by 10—30%. It may be worth to note that an attention has to be paid in the application of SCS method to Korean river basin by adjusting 10—30% increase to the value obtained from soil cover complex.

Finally, the design flood hydrograph was consturcted by employing unit hydrograph technique to the dimensionless mass curve. Also a stepwise multiple regression was performed to find the relationship between runoff and API, evapotranspiration rate, 5 days antecedent precipitation and daily temperature.

## 1. 序 論

本論文은 韓國 水文學會誌 第10卷 1號에 게재된“精密計測된 小流域의 降雨 및 流出特性”의 連續編으로서 既決定된 土壤群에 依한 分類로 부터 有效降雨量을 決定코져 하였다.

過去論文에서는 精密히 測定된 水文資料들을 利用하여 小流域의 降雨特性 및 流出特性을 究明하고 또한 實際設計에 利用할 수 있는 計劃 洪水量을 計算 함으로서 小流域에서의 水文學的, 特性을 다루었다.

漢江의 慶安川 流域은 京畿道 龍仁郡에서 南쪽으로

\* 本學會理事·서울대工大 助教授(工博)

\*\* 本學會理事·陸士 副教授(工博)

\*\*\* 正會員·忠北大 專任講師

\*\*\*\* 本學會理事·嶺南大 副教授(工博)

約 10km 떨어진 流域面積 9.2km<sup>2</sup>의 小流域이며 錦江의 無心川 流域은 淸州市內에서 約 4km 떨어진 流域面積 20km<sup>2</sup>의 流域이다. 慶安川은 Lysimeter를 비롯하여 各種 기상관측기구 및 總 14個의 雨量觀測點이 있으며 無心川은 7個의 雨量 觀측시설이 되어 있다.

## 2. 水文曲線 解析에 依한 流出特性 分析

2.1 主地下水 減水曲線을 誘導하는 데는 過去 수년간의 連續的인 流量水文曲線을 求한 後 各實測 水文曲線의 減水曲線 部分을 擇하여 이를 流量 Q의 對數值 (logQ)을 時間에 따라 表示하고 이 表示된 各減水曲線의 最低 logQ값에 大略的으로 接線을 긋고 이 曲線의 縱座標을 다시 線形座標로 바꾸어 表示함으로써 主地下水 減水曲線을 얻게 된다.

이와 같이 얻은 曲線은 該當 觀測點에 있어서의 地下水의 長期 減小特性을 나타내며 水文曲線上에서 直接流出과 基低流出을 分離 하게 되는 것이다.

前述한 主地下水減水曲線을 誘導하는데는 數時間에 걸친 連續的인 流量水文曲線이 있어야 하는데 最近數年間に 걸쳐 實測流量水文曲線을 求할 수 없으므로 부득이 最近의 數個 實測流量水文曲線으로부터 N-day法 (N=1.218A<sup>0.2</sup>=1.218×9.36<sup>0.2</sup>=1.90day=45.6hours)에 의한 點과 水文曲線의 上界部 起點으로부터 直線을 그어 減水曲線과의 交點을 얻어 이를 主地下水 減水曲線으로 假定하여 主地下水 減水曲線을 誘導하다.

### 2.2 單位圖의 誘導

單位圖 計算에 앞서 實測된 水文曲線으로 부터 基低流出에 該當하는 部分을 除去하여 直接流出을 誘導하

여야 한다. 實測된 總流出水文曲線 으로부터 基低流出을 正確하게 分離하기 위해서는 該當流域의 正確한 範圍와 地下帶水層의 地質 透水能 通水能力等 流域의 地質 水文學의 特性을 明確하게 究明할 수 있는 方法이 實用化되어 있지 않으며 地下水 減水曲線法, 水平直線 分離法, N-day法, 修正 N-day法 等の 簡略法이 實用的으로 使用되고 있다. 本流域에서도 實測된 總流出水文曲線으로부터 水平直線 分離法을 使用하여 基低流出을 分離하였다.

單位流量圖란 任意的 流域에 一定時間 동안 내린 單位雨量으로 因해서 그 流域의 出口에 생기는 流出量의 時間的 變化를 表示하는 直接流出水文曲線이다.

이러한 單位圖를 誘導하기 爲해서는 “特定單位時間” 및 “單位有效雨量”이 前提條件이 되며 이 單位流量圖를 誘導하는데는 一定基低時間假定, 比例假定, 重量假定의 3가지 基本假定이 成立되어야 한다.

이러한 單位流量圖의 誘導方法에는 美內務省 開拓局 (U.S.B.R.)方法, 美國 水文研究所(H.E.C.)方法 S.C.S 方法, Volker의 圖式解法 等이 比較的 最近에 實用化되고 있는 方法이다.

이들 方法의 一般的인 절차는 어떤 流域에 내린 任意的 豪雨로 인한 總流出 水文曲線으로 부터 基低流量을 分離하여 直接流出 水文曲線을 얻은 後 直接流出客積을 等價有效 降雨深으로 計算하여 이 값으로서 直接流出 水文曲線의 各 時間 縱距를 나눔으로서 單位圖의 縱距를 求하고 이렇게 求하여진 縱距를 流量對 時間關係로 나타냄으로써 單位時期別 單位圖를 求하게 되는 것이다.

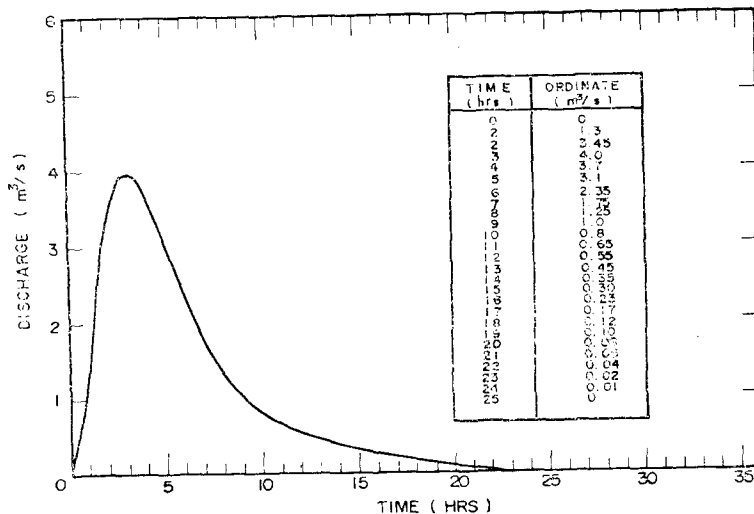


Fig 1. 1-Hour Unit Hydrograph Kyungan River Basin

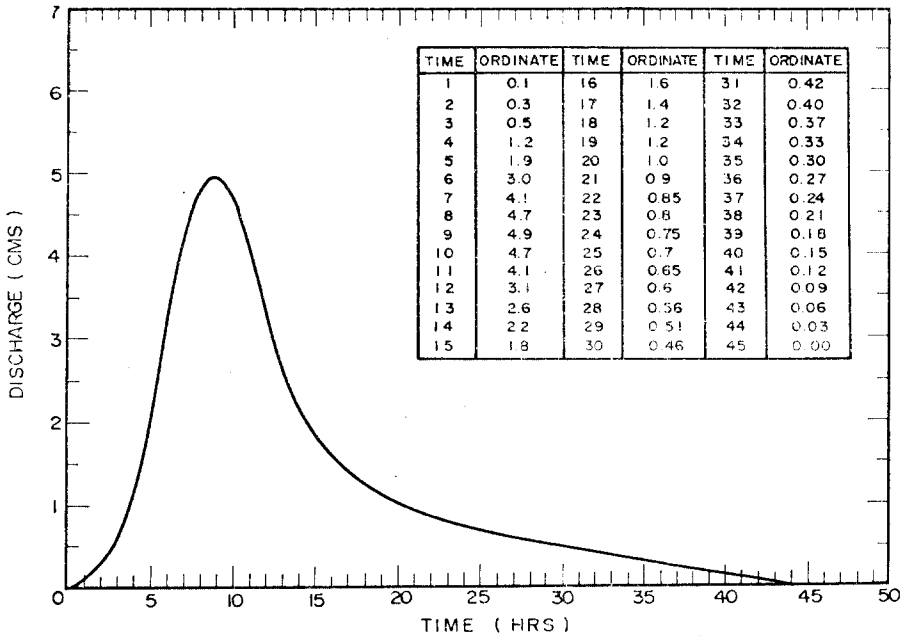


Fig 2. 1-Hour Unit Hydrograph of Musim River Basin

이와 같이 얻은 단위圖는 어떤 特定 豪雨로 인한 特定期間의 단위圖이며 一般的으로 實測 洪水 水文曲線의 構成에서 생기는 觀測誤差라든가 流域의 豪雨의 空間的, 時間的 分布特性이 各豪雨別 相異하기 때문에 同一流域에 對한 數個의 다른 豪雨로부터 誘導되는 同一 持續期間의 단위圖일지라도 어느 程度 다른 것이 보통이다.

따라서 比較的 一定한 降雨強度를 갖는 持續期間이 서로 다른 數個의 獨立된 豪雨事象으로부터 단위圖의 持續期間을 統一시켜 같은 持續期間에 對한 數個의 단위圖를 얻어 各單位圖의 尖頭流量點의 座標를 ( $Q_p, Q_t$ ) 決定한후 다른 단위圖들의 形에 비슷하게 스케치하여 流域의 代表單位流量圖를 求하여야 할 것이다.

Fig 1과 2 은 1976年度 資料를 利用하여 上記한 方法에 依하여 얻어진 慶安川과 無心川의 단위 유량도이다.

### 3. 計劃洪水量의 算定

代表流域과 같은 小流域에 對한 計劃洪水量의 決定 方法에는 經驗公式에 依하는 方法이라든지 洪水記錄의 統計學的 分析, 相關 關係分析 方法 및 單位流量圖의 適用에 依한 方法 等에 있는데 本調査에서는 單位圖法을 使用하여 計劃洪水量을 算定키로 하였다. 이 方法은 該當流域에 적용할 수 있는 計劃降雨分布型을 決定

하여 單位流量圖를 적용함으로써 計劃洪水量을 決定하는 方法으로서 一般의인 節次는 大략 다음과 같다.

첫째로, 再現期間別 計劃降雨量을 決定하고

둘째로, 計劃降雨量으로 부터 損失雨量을 제외한 有效雨量(即, 直接流出量)의 크기와 分布를 決定하며

셋째로, 流域에 적용할 수 있는 單位流量圖를 實測된 雨量 및 流量資料로부터 誘導하며

넷째로, 計劃 有效雨量 柱狀圖에 誘導된 單位圖를 적용하여 計劃洪水의 直接流出 水文曲線을 獲得하며

마지막으로 基底流出을 考慮하여 計劃洪水 水文曲線을 合함으로써 尖頭洪水量을 얻게 된다.

本調査의 對象流域인 慶安川 및 無心川 代表流域에 對한 計劃洪水量의 決定은 上記한 節次에 依하였으며 詳細한 內容은 다음과 같다.

#### 3.1. 再現期間別 計劃降雨量의 決定

再現期間別 計劃降雨量은 원래 長期間동안의 雨量資料의 年最高值系列을 作成하여 統計學的 方法에 依해 決定하는 것이나 本 對象流域의 資料는 10年 未滿이므로 統計學的 決定이 가능하지 않았다. 따라서 本代表流域에 가장 가까우며 確率降雨量의 分析이 되어 있는 水原 및 淸州 雨量觀測所의 資料를 그대로 使用키로 하였다.

勿論 代表流域이 위치한 地域과는 降雨特性에 어느 程度의 差異가 있을 것으로 思料되나 水原 및 淸州 觀

測所가 確率降雨量 分析이 되어있는 가장 가까운 地點 이며 確率降雨量의 크기 自體는 큰 차이가 없을것이라 생각될뿐 아니라 일반적으로 비교적 인접한 地域間에는 確率降雨量을 轉移하여 使用하는 것이 實務에 있어서의 通例이기도 하다.

表 1은 水原 雨量觀測所의 自記雨量記錄을 分析하여 降雨持續時間이 비교의 短時間인 確率降雨量을 決定한 結果를 表示하고 있다. 表 1의 代表流域에 적용할 持續期間別 計劃降雨量으로 삼을 것인가는 同상 流域의 流達時間에 依한 것이다.

따라서 流達時間의 決定에 흔히 使用되는 Kirpich 公式를 적용키로 하면

$$t_c = 0.06626 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \dots\dots\dots (1)$$

여기서  $t_c$ 는 流達時間이며  $L$ 은 流路延長(km)이고  $S$ 는 流路의 平均傾斜이다.

慶安川 및 無心川의 경우는  $L=5.11\text{km}$ 과  $5.180\text{km}$  이고,  $S=0.0419$ 과  $0.0543$ 이므로 式(1)로부터 계산되는 流達時間  $t_c=0.789$  및  $0.7$ 의 hr이다. 따라서 再現期間別 計劃降雨量으로는 表 1의 持續期間 60분에 해당하는 값을 選擇하기로 하였다.

表 1. 水原觀測所의 確率降雨量 (單位 : mm)

流域(年) 再現期間	持續時間(分)					
	10	30	60	120	180	
慶安川	10	12.1	28.0	48.0	74.8	90.2
	30	13.7	31.3	54.8	85.0	100.0
	50	14.5	33.2	58.0	90.0	109.5
	100	15.7	36.9	63.1	98.2	119.0

流域(年) 再現期間	持續時間(分)							
	10	20	30	40	60	80	120	
無必川	10	14.8	24.5	30.7	33.5	40.3	47.3	55.4
	30	17.8	29.9	37.3	40.2	48.0	57.3	66.2
	50	19.1	32.3	40.2	43.1	51.4	61.7	71.0
	1000	20.9	35.6	44.3	47.2	56.1	67.9	77.4

3.2. 再現期間別 有效雨量의 決定

再現期間別 計劃降雨量中 直接流出로 流下할 有效雨量分은 流域의 流出能力을 最大로 보아 AMC-III下의 流域平均流出數인  $CN=90.4$  및  $88.0$ 에 該當하는 曲線을 使用하여 表 2와 같이 決定하였다. (10)

表 2. 再現期間別 計劃有效雨量

流域	區間	再現期間(年)			
		10	30	50	100
慶安川	總雨量 (mm)	48.0	54.8	58.0	63.1
	有效雨量 (mm)	26.1	31.9	34.8	39.3
無心川	總雨量 (mm)	40.3	48.0	51.4	56.1
	有效雨量 (mm)	16.4	22.3	25.0	28.9

3.3. 豪雨의 時間的 分布型 決定에 依한 計劃有效雨量 柱狀圖 決定

各流域에 내리는 主要豪雨의 時間的 分布型을 決定하기 위하여 1976年度 主要豪雨의 無次元 累加雨量曲線을 Fig 3에 表示하였다.

Fig 3에서 볼 수 있는 바와 같이 無次元 累加雨量資料는 상당한 分散을 보이고 있어서 單一曲線으로 表示할 수는 없었으며 일반적으로 豪雨의 發生頻度에 따라

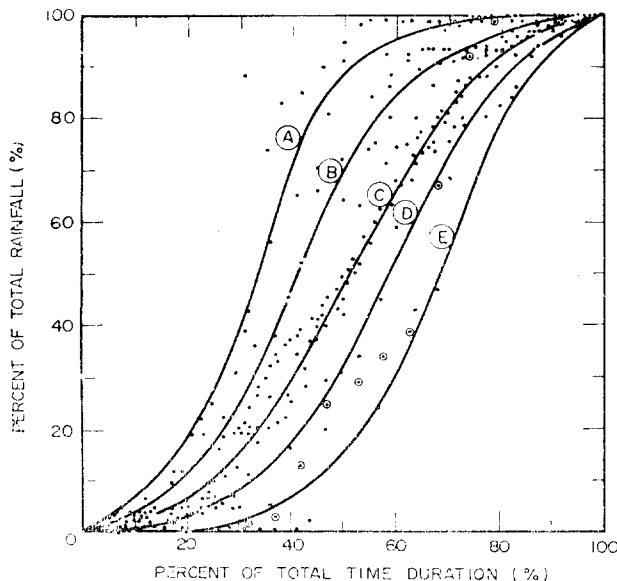


Fig 3. Dimensionless Rainfall Mass Curves (Kyungan)

Fig 3에 表示된 바와같은 一聯의 曲線群으로 표시하는 것이 통상이다. 따라서 本調査에서도 全資料를 包絡하는 A~E의 5個曲線型으로 分類 하였으며 時間區間別雨量 分布를 Fig 3로 부터 얻은 값이 表 3에 수록되어 있다.

表 2의 再現期間別 1時間 計劃有效雨量을 表 3의 時間區間別 雨間分布 百分率을 使用하여 15分 간격의 雨量柱狀圖를 만들기 위해 有效雨量을 配分한 結果가 慶安川의 경우 表 4 및 5에 수록되어 있다.

表 3. 時間區間別 雨量分布 百分率 (%)

時間配分率%	A		B		C		D		E	
	流域		流域		流域		流域		流域	
	경안	무심	경안	무심	경안	무심	경안	무심	경안	무심
0~25	28	58	17	41	10	27	5	11	1	7
25~50	61	30	53	38	38	40	27	40	14	25
50~75	10	10	25	16	40	23	49	30	54	39
75~100	1	1	5	5	12	10	10	9	31	29

表 4. 再現期間別, 分布曲線別 15分 간격 有效雨量 (慶安川, 10年 및 30年)

單位 : mm

時間區間(分)	10 年					30 年				
	流域					流域				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
0~15	7.3	4.5	2.6	1.3	0.3	9.0	5.4	3.2	1.4	0.3
15~30	15.9	13.8	9.9	7.0	3.6	19.6	16.9	12.1	8.6	4.5
30~45	2.6	6.5	10.4	12.8	14.1	3.2	8.0	12.8	15.6	17.2
45~60	0.3	1.3	3.2	5.0	8.1	0.3	1.6	3.8	6.1	9.9
총 유효우량	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	31.9	31.9	31.9	31.9	31.9

表 5. 再現期間別, 分布曲線別 15分 간격 有效雨量 (慶安川, 50年 및 100年)

單位 : mm

時間區間(分)	50 年					100 年				
	流域					流域				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
0~15	9.7	5.9	3.5	1.2	0.3	11.0	6.7	3.9	2.0	0.4
15~30	21.2	18.4	13.2	9.4	4.9	24.0	20.8	14.9	10.6	5.5
30~45	3.5	8.7	13.9	17.1	18.8	3.9	9.8	15.8	19.3	21.2
45~60	0.4	1.8	4.2	6.6	10.8	0.4	2.0	4.7	7.4	12.2
총 유효우량 (mm)	34.8	34.8	34.8	34.8	34.8	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3

이로부터 알수있는 바와 같이 各再現期間 共히 降雨 量分布型 A,B의 경우에는 雨量이 主로 降雨初期에 집중되어 있는 반면에 分布型 D,E의 경우는 降雨後期에 집중되어 있으며 分布型 C의 경우에는 降雨中期에 집중되어 있다. 일반적으로 降雨分布型 A,B는 Advanced Type 이라 부르고 D,E는 Delayed Type 이라 부르며 Advanced Type 이 Delayed Type 보다는 大 尖頭 洪水 量을 誘發시키는 것으로 알려져 있다. 이는 다음절 에서 單位圖의 直接適用에 의해 計劃洪水水文曲線을 合成함으로써 확인될 것이다.

3.4. 單位流量圖의 作成

表 5의 再現期間別 有效雨量柱狀圖에 적용하여 計劃

洪水水文曲線을 合成하는데 使用된 單位圖는 雨量柱狀 圖의 時間 間隔을 15分으로 잡았으므로 持續期間 15分 인 單位圖라야 한다. 그런데 앞에서 主要豪雨와 流出 資料로부터 유도된 單位圖는 1時間 代表單位圖이므로 이 는 時間別 縱距值를 읽어 S-curve 方法에 의해 15分 單位 流量圖를 計算하여야 하며 誘導된 15分單位圖는 Fig 4에 표시되어 있는 바와 같다. Fig 4에서 볼 수 있는 바와 같이 실제로 計算된 15分單位圖의 下降部는 資料 點이 상당히 흩어져 있음을 볼수 있다.

이는 1時間 單位圖의 誘導에 使用된 實測資料의 誤 差와 S-Curve 의 計算과정에서 생긴 偏差의 累積으로 인한 것으로 思料되며 이들 資料點을 통과하는 매끈한

曲線을 그리되 曲線下의 面積이 1cm의 有效雨量과 동 일하도록 調整하여 최종적인 15分 單位圖를 求하였다.

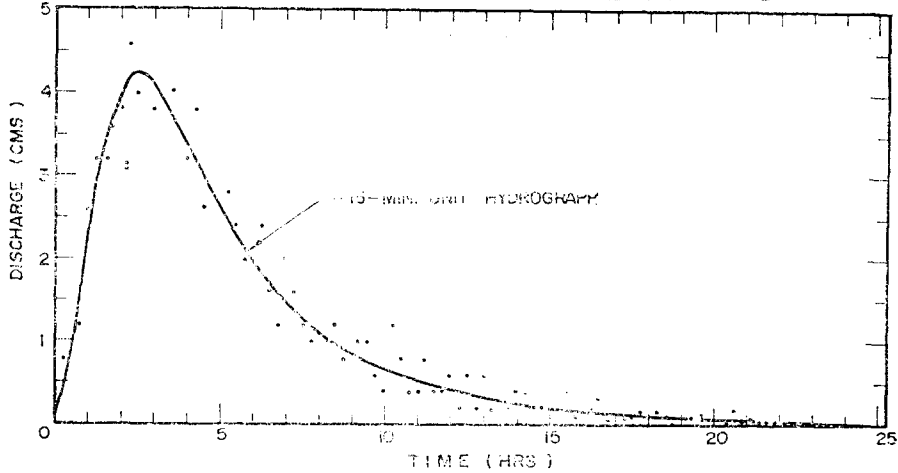


Fig 4. 15-Min Unit Hydrograph (Kyungan,

3.5. 計劃 洪水水文曲線의 合成에 依한 計劃 洪水量의 決定

15分 代表單位圖를 有效 雨量柱狀圖에 적용하여 計劃 洪水의 直接流出水文曲線을 合成하고 이에 基低流量을 첨가한 水文 曲線上의 尖頭洪水가 바로 計劃 洪水量이 되는 것이다.

그런데 再現期間別 計劃有效雨量 柱狀圖는 慶安川의 경우 表 4와 5에 표시한 바와 같이 A, B, C, D, E의 型으로 分類하였으므로 이들 分布型中 어느 分布가 가장 큰 尖頭洪水를 발생시키는가를 判別하여야 한다. 따라서 15分 單位圖와 表 5의 再現期間 T=10年에 해당하는 5個雨量分布型을 사용하여 分布型別로 直接流出水文曲線을 合成하였으며 Fig 5에 圖示하였다. 또한 降雨分布型別 100年頻度의 尖頭洪水量을 要約 比較한

것이 表 6이다.

表 6로부터 알수 있는 바와 같이 100年頻度의 가장 큰 尖頭洪水量은 A型 雨量 分布인 것으로 나타났으나 分布型에 따른 尖頭洪水量의 크기는 大同小異하다.

表 6. 降雨分布型別 100年頻度尖頭洪水量(直接流出分)

區分	分布型	A	B	C	D	E
尖頭 洪水量 (m <sup>3</sup> /sec)		16.669	16.573	16.603	16.472	16.602

이는 本流域이 比較的 小流域이므로 計劃降雨의 持續 期間을 비교적 짧은 1時間으로 잡아 이를 다시 15分 間隔의 雨量柱狀圖를 만들어 單位圖를 적용했기 때문에 降雨分布型의 영향이 小流域에는 크게 나타나지 않는 것으로 풀이된다.

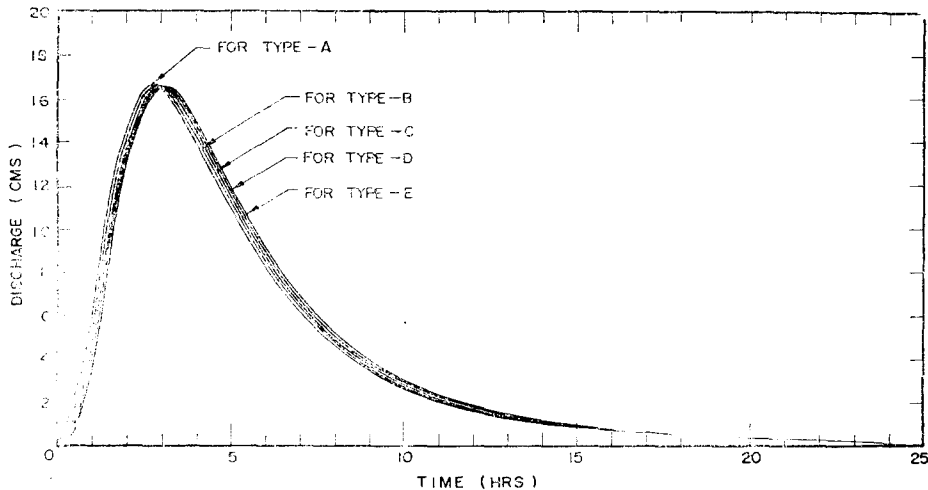


Fig 5. 100-Year Design Direct Flood Hydrographs for Various type of Rainfall time Distributions (Kyungan)

그러나 Fig 5에서 분명히 관찰할 수 있는 것은 Advanced Type (A, B型)의 雨量分布가 Delayed Type (D, E型)의 雨量分布보다 早期에 流出을 集中시키고 있다는 것이며 이는 큰 流域의 경우에 대하여 알려져 있는 사실과 一致한다.

上述한 바와 같이 降雨分布型이 尖頭流量의 크기에 미치는 영향을 거의 무시할 수 있으므로 他 再現期間(10, 30, 50年)의 경우에 대해서는 任意로 A-型 分布만을 적용하여 直接流出 水文曲線을 作成하였으며 이를 直接流出 水文曲線의 形態로 표시한 것이 Fig 6이다. 計劃 洪水量을 決定하는 입장에서 볼때 극한적인 流出

狀況을 고려해야 하므로 慶安川의 경우 最大 地下水 減水曲線의 頂點流量  $Q_p=2.9m^3/sec$ 를 慶安川의 경우  $Q_p=4.5m^3/sec$ 를 더해 주므로서 總計劃洪水量을 決定하였다.

勿論 이 基底流出量은 洪水의 生起頻度에 따라 相異할 것이나 本調査研究에서는 充分한 水文曲線 資料의 分析이 不可能하였으므로 洪水의 再現期間에 관계없이 一定하다고 가정하였다

따라서 確率洪水量의 直接流出分에  $2.9m^3/sec$ (경안천) 또는  $4.5m^3/sec$ (무심천)를 더해 주므로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

구분	유역	10年		30年		50年		100年	
		경안	무심	경안	무심	경안	무심	경안	무심
활동홍수량 $m^3/sec$		13.97	13.10	16.52	16.19	17.66	17.61	19.57	19.65

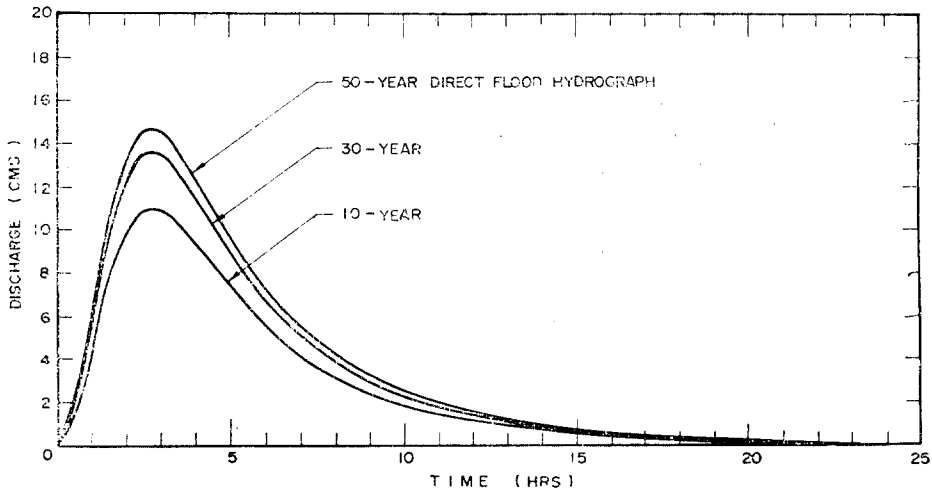


Fig 6. Design Direct Flood Hydrographs for various Return Periods (Kyungan)

#### 4. 總雨量—先行 降水量—有効雨量 間의 複合相關 分析

水文系의 영향을 주는 各要素들의 중요성을 알기 위해 여러가지 方法들이 研究되고 있으나 이 중 가장 有效하게 쓰여지는 方法은 入力과 出力의 關係를 구하여 이를 實測値와 比較하는 方法이다. 보편적으로 降雨量과 流出量을 入力과 出力의 變數로 利用하고 있으며 이들 값 이외에도 入力으로서 流域의 特性, 기후 조건 토양條件들이 變數로서 사용되고 있으며 一般的으로 이들은 선형으로 中樞의 原理가 적용된다고 믿고 있다. 이들의 一般的인 方法은 回歸 分析이라고 불리워지고 있으며 이는 통상 關係式으로 부터 얻은 값들을 實測値와 比較하여 標準推定誤差(Standard Error of Estim-

ate)를 최소화 하는 模型을 擇하며 또한 이러한 條件을 만족 시키더라도 關係式에 포함되어 있는 變數를 면밀히 검토하여 이들 關係에 物理的인 關係를 찾을수 없었던지 또는 變數들 사이의 關係가 밀접하다던지 하는 點에 特別한 고려를 하여야 한다.

회귀 분석을 할때는 다음과 같은 몇가지 點에 特別한 考慮를 하여야 한다. 첫째 모든 必要한 變數들이 포함되어 있는가를 검토하여야 한다. 경우에 따라서는 미처 생각지 못한 變數들과 큰 關係를 가질때가 있다. 둘째는 이러한 關係式은 他用途에는 利用을 못하는 短點을 가지고 있다. 勿論 流出量을 計算하기 위한 關係式을 증발량이나 地下水 流出量에 利用하지 못한다는 것은 明若顯火한 일이나 他模型에서는 이런 것에 利用될 수도 있다.

複合 回歸分析(Multiple Regression)은 Stepwise Multiple Regression 의 方法을 利用하였으며 IBM Scientific Subroutine Package(SSP)의 program을 FACOM 에 맞도록 修正을 加하였다.

複合回歸分析의 一般 公式은

$$y(t) = \sum_{i=1}^n a_i X_i(t) \dots \dots \dots (2)$$

으로서 Stepwise Multiple Regression 이란 逐次的으로 標準推定誤差(Standard Error of Estimate)를 減小시키는 方向으로 F-Test 에 依해 獨立變數  $X_i(t)$ 를 選擇하도록 되어 있다. 一般 複合回歸分析보다 그 節次가 복잡하나 變數  $X_i(t)$ 의 數를 調整함으로써 가장 効果的인 回歸分析을 할 수 있다.

이러한 回歸分析의 理論을 直接流出量(有効雨量)과 總雨量의 關係를 수립 하는데 利用코져 本 代表流域에 試圖하였다. 直接流出量은 總雨量에서 損失 雨量을 除한 것으로서 有効雨量과 같으므로 이를 중속변수로 택 하였으며 總降水量과 其他流出에 直接영향을 주는 것으로 思考되는 5日 先行降水量, 蒸發量, 先行降雨指數(Antecedent precipitation index) 등을 獨立變數로 取하였다.

使用된 資料는 慶安川의 경우 1968과 1976年 사이의 主要호우를 선택하였으며 表 7 資料中 1973. 6. 25~1974. 7. 25 사이의 자료는 流出數 決定過程의 結果를 利用하였으며 直接水文資料로부터 蒐集한 資料는 아님을 밝혀 둔다.

表 7. 複合 回歸分析을 위한 資料 (慶安川)

豪 雨	총우량 cm	API	증발량 cm	5日先行 降雨 mm	有効 雨量
1976. 8. 2~3	10.87	1.25	10.28	0	6.52
8. 12~15	31.43	5.19	9.15	1.76	18.91
8. 16~28	6.45	12.68	7.65	5.96	3.86
1972. 8. 6~9	14.75	19.08	10.96	21.69	10.02
1968. 8. 5~7	7.99	4.11	11.30	0	1.88
8. 19~20	7.78	10.95	14.51	13.08	4.07
8. 21~24	11.57	14.02	14.38	8.36	6.32
1973. 6. 25~30	11.10	1.24	11.27	0.29	2.56
8. 16~17	9.39	1.68	10.19	0	1.69
8. 19~23	6.76	8.61	9.65	9.39	4.34
8. 27~31	9.07	7.43	8.50	4.15	4.02
1974. 8. 1~12	24.26	1.48	12.42	1.48	11.86
7. 13~17	1.40	15.20	11.13	24.26	0.22
7. 25~31	8.45	4.75	9.51	0.05	1.26

이는 今年自記水位計의 作動이 8月 以後부터이므로 今年度 水位資料를 充分한數를 수집 할 수 없었고 또한

回歸分析에의 獨立變數가 4개인데 반하여 直接水文曲線에 依한 資料가 7이므로 自由度가 3이기 때문에 誘導된 資料이다도 本 回歸分析에 利用할 수 밖에 없었다.

Stepwise-Multiple Regression 에 依한 計算은앞서 記述한대로 總降水量( $X_1$ ), API( $X_2$ ), 30日 先行蒸發量( $X_3$ ) 5日 先行降水量 ( $X_4$ )의 獨立變數와 中속 變수로 서 有効雨量( $X_5$ )을 使用하였으며 이들의 平均値와 標準偏差는 表 8과 같다.

또한 이들 相互間의 相關係數行列(correlation matrix)는 表 9에 表示한바와 같다.

表 8. 各變數의 平均과 표준편차(慶安川)

變 數	平均(cm)	標準편차 (cm)	備 考
$X_1$ 총 우 량	11.519	7.681	獨立變數
$X_2$ A P I	7.691	5.871	"
$X_3$ 30日 先行증발량	10.779	1.987	"
$X_4$ 5日 先行강우량	6.462	8.141	"
$X_5$ 유 효 우 량	5.537	5.059	중속변수

表 9. 相關係數 行列 (慶安川)

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$
$X_1$	1.00	-0.29	0.01	-0.31	0.94
$X_2$	-0.28	1.00	0.15	0.88	-0.02
$X_3$	0.01	0.15	1.00	0.25	-0.01
$X_4$	-0.31	0.88	0.25	1.00	-0.07
$X_5$	0.94	-0.02	-0.01	-0.07	1.00

이들의 상관계수를 보면 기대하였던 바와 같이 有効雨量과 총우량과의 相關係數는 0.93에 이르러 거의 有効雨量은 총우량의 영향을 받는 것으로 나타나며 其他 變數인 API, 증발량, 5日 先行降雨量 등의 영향은 미미한 것으로 나타났다. 또한 表 10에는 變數의 결합을 여러 종류로 하여 그의 結果를 比較하여 보았다. 變數 4個를 全部 利用하였을 경우 複合 相關係數는 가장 큰 값을 나타내며 또한 F-值도 가장 적은 값을 보여주었다. 또한 5日 先行강우 보다는 API의 영향이 크며 F-值의 값들을 比較할 때는 3個變數의 結合 보다는 4人口 變數結合이 좋은 結果를 보여주고 있다 結果로 複合回歸 分析公式은

$$X_5 = 2.002 + 0.673X_1 + 0.184X_2 - 0.180X_3 + 0.04X_4 \dots \dots \dots (3)$$

이며 複合相關係數는 0.974이다.

漢江 流域의 慶安川과 同一한 過程에 依하여 無心川의 경우도 複合相關 分析을 實施하였으며 이에 使用된



表 10. 複合 回歸分析 結果 (慶安川)

使用된 變數	Standard Error of Estimate	F-Value	Mult. Correlation Coefficient	Regression Equation
$X_1, X_2, X_3, X_4$	1.382	41.306	0.974	$X_5 = 2.002 + 0.673X_1 + 0.184X_2 - 0.180X_3 + 0.047X_4$
$X_1, X_3, X_4$	1.434	50.902	0.969	$X_5 = -0.928 + 0.669X_1 + 0.239X_2 - 0.156X_3$
$X_1, X_2, X_3$	1.826	59.731	0.973	$X_5 = -2.331 + 0.669X_1 + 0.239X_2 - 0.156X_3$

資料는 1973年과 1976年 사이의 主要호우의 資料를 利用하였다. 慶安川의 경우와 마찬가지로 今年度 水位 記錄은 8月 以後의 豪雨에 對해서만 記錄이 있을뿐 그 以前에 水位資料가 使用 가능한 것이 없었다. 따라서 流出數計算過程에서 誘導된 資料를 入力資料로 使用하였으며 이로 인하여 회귀분석 結果에 다소 오류가 있을 것으로 思料되나 以後 實測值가 補完되는대로 보다 正確한 回歸分析이 施行되어야 겠다. 표시한 바와 같이 4個의 變數를 利用하였을 경우 가장좋은 結果를

보여주었으나 獨立變數  $X_1, X_2, X_3$ 에 追加로  $X_4$ 를포 함시키는 것은 회귀분석에 크게 影響을 주지는 못하였다. 公式中에  $X_4$ 에 對당하는 계수가 負의 값을 가지는 것은 物理的 現象에 비추어 있을 수 없는 일이므로 無心川의 경우는 最適의 回歸分析은 아니지만 3個變數의 複合 公式인

$$X_5 = -12.883 + 1.011X_1 + 0.858X_2 + 0.342X_3 \dots (4)$$

을 擇하는 便이 좋은것 같다.

表 11. 複合 回歸分析 結果 (無心川)

使用된 變數	Standard Error of Estimate	F-Value	Mult. Correlation Coefficient	Regression equation
$X_1, X_2, X_3, X_4$	1.211	27.506	0.920	$X_5 = -14.092 + 1.008X_1 + 0.779X_2 + 0.427X_3 - 0.161X_4$
$X_1, X_3, X_4$	1.952	12.352	0.907	$X_5 = -7.047 - 0.873X_1 + 0.136X_3 + 0.245X_4$
$X_1, X_2, X_3$	1.239	34.646	0.964	$X_5 = -12.883 + 1.001X_1 - 0.585X_2 + 0.342X_3$

### 5. 流達時間 및 지체시간의 決定

流域의 水文 特性中에 가장重要한 要素는 流出과 降雨間의 지체 시간(lag time)이다. 이는 主로 水文曲線을 解析함으로써 얻을 수 있으나 一般의 水文曲線을 合成하는데 많이 利用된다.

많은 경우에 遲滯 時間은 特定地域에 對한 不變函數로 고려되며 이는 即 流域의 反應이 線型임을 나타내나 實際의 流域의 反應이 線형이라는 것은 自然에서는 흔한 일이 아니다. 水文曲線을 해석하면 一般의 所以 지체시간은 水文曲線마다 달라지는 時間의 函수 또는 流域特性 인자의 函수로서 나타나기 때문에 이의 예리한 分析이 必要하다. 一般의 所以 지체 시간이란 有效雨量의 우량 柱狀圖의 重心으로부터 水文曲線의 첨두치 사이의 時間을 말한다. 遲滯時間은 主로 流出量과 相關 關係를 갖고있는 것이 명확하다. 지체 時間을 流量과의 關係를 수립할 경우에는 直接流出(Direct

Runoff) 보다는 地表流出(Total Runoff)로 使用하는 것이 보통이다. 이는 流域이 降雨에 對한 應答이 地下水를 포함한 地表 流出로서 代表된다고 할수있기 때문이다. 關係式은

$$t_c = a \bar{q}^b \dots (5)$$

의 형태로 나타낼 수 있으며  $a, b$ 는 流域을 代表하는 상수이고  $\bar{q}$ 는 기준시간에 대하여 平均을 취한 流量, 즉,

$$\bar{q} = \int_{t_1}^{t_2} q dt \cdot / \int_{t_1}^{t_2} dt \dots (6)$$

이다. 여기서  $t_1$ 은 上昇水文曲線의 시작시간,  $t_2$ 는 下降水文곡선의 終末시간이다.  $t_1$ 은 일반적으로 감지하기가 쉬우나  $t_2$ 는 地下水가 장기간에 걸쳐 下降하므로 쉽게 알아낼 수는 없다.

그러나 水文曲線의 影響은  $t_2$  값보다는 첨두치의 影響이 크므로 이의 不確實性이 문제 해결에 큰 影響을 미치는 것은 아니다. 이를 감안하기 위하여 地下水 量

수곡선의 比重을 적게하는 加重平均 方法이 考案 되었다. 즉,

$$\bar{q} = \int_{t_1}^{t_2} cq \, dt / \int_{t_1}^{t_2} c \, dt \dots \dots \dots (7)$$

로서  $c$ 는 加重值이다.

式 (7)은 主로 複合 강우에 依한 2個以上의 침두치를 가진 水文曲線인 경우에 利用하며 加重值는 下降水文曲線의 終末 部分에는 침두치의 것보다 적게 定한다.

各 流出 水文曲線과 有效 强우의 시간적 分布에 依하여 決定되는 지체시간은 式(5)와 式(6)에 依하여 決定되며 式(5)는 간단히 對數로 變換시키므로서 선형의 回歸直線을 얻을 수 있다.

流達時間(Travel Time)은 河道에서의 洪水 또는 汚染物質의 진과 속도를 나타내어 주는 것으로 이는 合理式을 적용하는데 必要한 到達時間을 誘導하는데 必要한 要素들이다. 合理式에서의 到達 時間은 物理的으로 流域最遠距離 地點으로 부터 出口에 이르기 까지의 時間을 말하며 이는

$$t_c = t_s + t_r \dots \dots \dots (8)$$

로서 표시될 수 있다. 즉  $t_c$ : 到達時間(Time of Concentration),  $t_s$ : 斜面에서의 進과시간,  $t_r$ : 河道에서의 進과시간이다. 其中  $t_r$ 은 流達時間을 直接測定하든지 또

는 Manning의 公式이나 經驗式에 依하여 決定될 수 있다. 流達時間을 測定하는데는 化學藥品을 注入하여 下流部에서 濃度의 分布를 測定함으로써 計算될 수 있으며 또한 經驗에 依하여 流域特性의 不變因子 即 面積, 流域傾斜 등으로서 回歸式을 求하여 얻을 수 있다.

遲滯時間을 決定하기 위하여서는 連續된 流量資料와 그 流出을 야기시킨 降雨의 連續資料가 必要하나 本解析에 使用할 수 있는 資料는 1976年 資料에 依存하였다. 表 12은 使用된 資料로서 遲滯時間은 有效降雨柱狀圖의 重心으로 부터 直接 流出水文 曲線의 尖頭值까지의 時間이며 單位面積當의 平均 流量은 有效雨量(直接流出)을 基底時間으로 나눈값이다. 즉

$$\bar{q} = \int_{t_1}^{t_2} Q \, dt / A(t_2 - t_1) \dots \dots \dots (9)$$

이며 式(9)의 次元上의 同質性을 維持하기 위하여서는  $\bar{q}$ 의 單位는  $L/T$ 이 되어야 하나 物理的 意味를 찾기 위하여 mm를 利用하였다. 表 12에 보인바와 같이 充分한 數의 자료가 있으면 回歸分析을 實施하거나 圖面上에서 그 特性을 分析할 수 있으나 單3個資料로서는 이러한 調査는 實施할 수 없어 Fig 7의 結果만을 얻을 수 있었다.

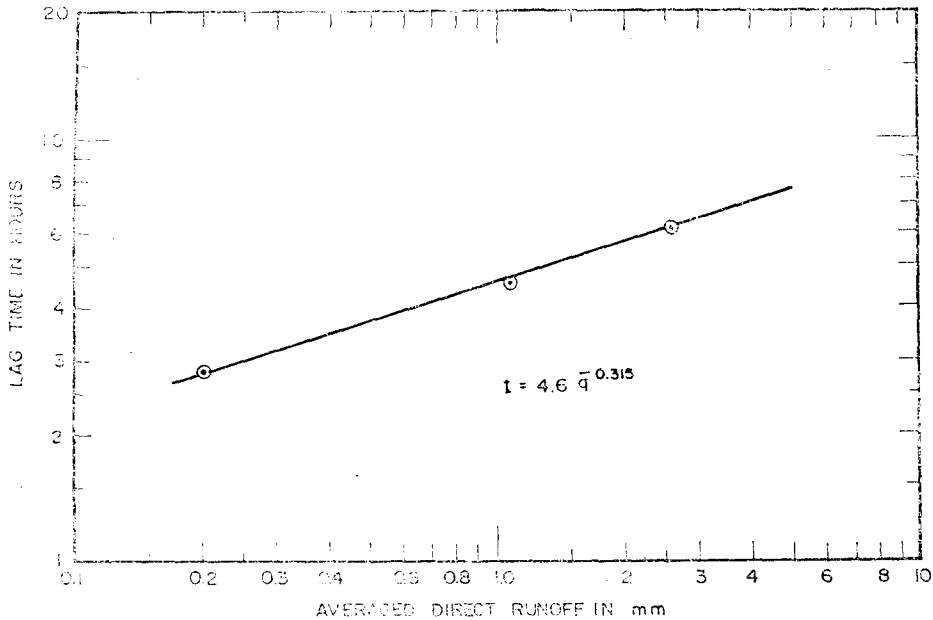


Fig 7. Relation between lag time and average Discharge (Kyungan river basin)

3點으로 부터

$$t = 4.6 \bar{q}^{-0.315} \dots \dots \dots (10)$$

의 式을 얻을 수 있으나 3個의 자료로 부터 2個의 상수 4.6과 0.315를 구하는 데는 해석상 다소 무리가 있는 듯하다.

表 12. 平均流量과 遲滯時間 (慶安川)

豪 雨	單位 面積當 平均 流量	遲滯時間
1976. 8. 3	0.204mm	2.74hr
1976. 8. 13	2.625mm	6.14hr
1976. 8. 27	1.073mm	4.57hr

錦江의 無心川 流域도 慶安川과 類似한 方法으로 遲滯時間을 分析 試圖하였다. 이 流域의 경우는 경안천 보다는 記錄이 多小 良好하여 5個의 豪雨, 流量자료가 있으나 이 중 本分析에 적합하지 못한 자료 1個는 삭제하고 4個의 流出 水文曲線을 利用하였다. 表13에 是 表12와 同一하게 直接流出을 流出의 基底 時間으로 나눈 값을 遲滯時間과 關係를 나타내었다.

表 13. 平均流量과 遲滯時間 (無心川)

豪 雨	單位面積當 平均 流量	遲滯時間
1975. 9. 14	3.57mm	8 hr
1976. 8. 5	0.62mm	6.6 hr
8. 22	0.69mm	12.08hr
8. 27	0.88mm	5.27hr

遲滯時間과 平均流量을 對數로 換算하여 얻은 回滯 方程式은

$$t = 7.6 \bar{q}^{0.00375} \dots\dots\dots(11)$$

으로서 指數는 거의 零에 가까우므로  $\bar{q}$ 에 대한 영향이 거의 없음을 알 수 있다.

4. 結 論

精密計測된 小流域에 對하여 降雨과 流出의 關係를 究明하기 위하여 降雨의 特性和 流出의 特性을 分析하였으며 이 特性으로부터 實際設計에 利用될수 있는 設計洪水量 算定方法을 提示하였다. 構體的으로 前號에 게재된 論文의 結果와 今回의 結果는 다음과 같다.

1. 小流域에서의 點雨量은 流域平均雨量과 45°의 경사를 가지는 線形 回歸關係를 가진다.
2. 高度에 따르는 雨量의 變化는 高度가 증가함에 따라 커지는 性向을 보이기는 하였으나 뚜렷한 判斷기준은 찾지 못하였다.
3. 豪雨의 持續期間과 日雨量과의 關係는 二次 函數로 表示될 수 있는 關係를 나타내었으나 資料의 貧困으로 明確한 分析은 實施하지 못하였다.
4. 流出量 算定을 위하여 開發된 美國 土壤保存局 (U.S. S.C.S) 方法의 적용성을 試驗하기 위하여 對象 流域의 土壤群을 分類, SCS基準에 따라 流出傳數를 求하였다.
5. SCS 方法의 적용을 위하여 호의의 무차원 累加 曲線을 유도 하였으며 이로부터 설계 호우를 결정하여

설계 재현기간에 따른 우량 주상도를 작성 하였다. 또한 앞서 도출한 SCS의 流出數를 利用하여 有效雨量을 算定하였으며 이 값들은 直接 流量 資料로 부터 구한 有效 雨量과 比較한 結果 SCS 方法이 約 10~30% 적게 나타났다.

6. 流域의 特性을 나타내며 單位流量圖 및 水文曲線에 影響을 주는 지체시간과 流達時間을 分析하기 위해 流量과 지체시간과의 關係를 回歸 分析에 依하여 求하였다.

REFERENCES

1. Mockus, Victor, "Hydrologic soil groups," National Engineering Handbook, Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture, 1972.
2. Mockus, Victor, "Estimation of direct runoff from or rainfall", Chapter 11, National Engineering Handbook, Soil Conservation Service, U. S. Department of Agriculture, 1972.
3. Chow, V.T., "Handbook of Applied Hydrology", McGeaw-Hill, New York, 1963.
4. Carnahan, B., and Wilkes, J., "Applied Numerical Methods". John Wiley and Sons, 1969.
5. IBM, "Scientific Subroutine Package," IBM Corporation, 1968.
6. Draper, J., "Applied Regression Analysis", John Wiley and Sons, 1966
7. Chow, V.T., "Hydrologic Determination of Waterway Areas for the Design of Drainage Structures in Small Drainage Basins," Univ. Of Illinois Engineering Experiment Station, Bulletin No. 462, Urbana, Ill., 1962.
8. Sherman, L.K., "Stramflow from Rainfall by the Unit-Graph Method," Engineering News Records, Vol. 108, 1932.
9. Kirpich, Z.P., "Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds," Civil Engineering, Vol.10, No.6, 1940.
10. 鮮于仲皓, 尹龍男, 沈淳輔, 李舜鐸, "精密計測된 小流域의 降雨 및 流出特性", 韓國水文學會誌 第 10 卷 第 1 號, 1977.