

〈論文〉

小流域의 設計流量 算定을 爲한 降雨形狀 分析에 關한 研究

A Study on Rainfall-Pattern Analysis for determination of  
Design flow in small watershed

朴 贊 寧\*  
Chan Young Park

徐 炳 夏\*\*  
Byung Ha Seoh

尹 龍 男\*\*\*  
Yong Nam Yoon

姜 瑄 沉\*\*\*\*  
Kwang Won Kang

**ABSTRACT**

The rainfall pattern analysis on time distribution characteristics of rainfall rates is important in determination of design flow for hydraulic structures, particularly in urban area drainage network system design.

The historical data from about 400 storm samples during 31 years in Seoul have been used to investigate the time distribution of 5-minute rainfall in the warm season.

Time distribution relations have been developed for heavy storms over 20mm in total rainfall and represented by relation percentage of total storm rainfall to percentage of total storm time and grouping the data according to the quartile in which rainfall was heaviest. And also time distribution presented in probability terms to provide quantitative information on inter-storm variability.

The resulted time distribution relations are applicable to construction of rainfall hyetograph of design storm for determination of design flow hydrograph and identification of rainfall pattern at given watershed area.

They can be used in conjunction with informations on spatstorm models for hydrologic applications.

It was found that second-quartile storms occurred most frequently and fourth-quartile storms occurred most infrequently.

The time distribution characteristics resulted in this study have been presented in graphic forms such as time distribution curves with probability in cumulative percent of storm-time and precipitation, and selected histograms for first, second, third, and fourth quartile storms.

\* 仁荷工業專門大學 專任講師

\*\* " 副教授

\*\*\* 陸軍士官學校 教授

\*\*\*\* 仁荷大學校 教授

## 要 旨

降雨量의 時間分布 特性에 關한 降雨形狀 分析은 小流域의 計劃洪水量을 決定 한다가나 都市地域의 排水網 設計를 爲한 設計流量 算定을 爲하여 대단히 重要하다.

서울 地域의 過去 記錄值로부터 總降雨量이 20mm 以上되는 約 400個의 豪雨資料를 利用하여 5分 間隔 降雨의 時間分布를 解析하였다.

總降雨量에 대한 百分率을 總降雨時間에 대한 百分率과 聯關시키고 獲得된 資料를 降雨 最大値가 發生되는 位置따라 4個의 그룹으로 分類 分析하여 그 結果를 提示하였다. 또한 降雨와 降雨間의 變化性을 定量的으로 나타내기 爲하여 時間分布 特性을 頻度確率에 따라 分析하였다.

分析結果로 얻어진 降雨의 時間分布 關係는 設計流量 水文曲線 決定에 使用되는 設計降雨의 雨量柱狀圖를 얻는데 使用될뿐만 아니라 주어진 流域에서의 降雨形狀을 把握하는데 適用될 수 있다. 또한 水文解析 問題를 爲한 降雨의 모델을 形成할 수 있으며 降雨의 空間的 分布 以外の 降雨特性 및 媒介變數 等과 같은 資料와 聯關시킬 수 있다.

分析結果 第2區間 降雨의 頻도가 가장 높았으며 第4區間 降雨의 頻도가 가장 낮았다.

이와 같은 分析 結果인 時間分布의 特性을 累加 降雨時間 百分率과 累加 降雨量 百分率의 項으로써 確率別로 表示하였으며 各 區間別 降雨의 時間分布 樣相 및 그에 따른 雨量柱狀圖를 圖表化 하였다.

### 1. 序 論

各種 豪雨 및 洪水로 인한 人命 및 財產上의 被害가 우리나라에서는 每年 反復되고 있으며<sup>1)</sup> 특히 1960年代 이후부터 產業經濟의 高度成長과 더불어 人口의 都市 集中化로 인한 급격한 都市化에 따른 各種 都市 排水 構造物이 新設 및 擴充되지 못하고 있어 集中豪雨로 인한 各種 被害가 增加 추세에 있다. 이와같은 被害에 큰 영향을 미치는 것은 長期間에 걸친 降雨의 過多한 雨量뿐만아니라 持續期間이 길지않은 集中豪雨로 인한 경우도 많으므로 이러한 被害를 最小로 줄이기 爲해서는 좀더 正確한 水工構造物의 設計流量 算定 基準의 設定이 必要하다.

最近에는 이를 爲하여 現今까지 주로 많이 使用되어 온 合理式<sup>2)</sup>보다 單位圖法<sup>3)</sup>이나 시뮬레이션 모델技法<sup>4)</sup>이 많이 開發되어 應用되고 있다.

이러한 方法으로 水工構造物의 보다 正確한 設計流量을 算定하기 爲하여는 設計降雨의 雨量柱狀圖가 必要한 바 이는 어떤 地域 혹은 流域에 대한 過去 實測된 降雨量 資料를 統計學的으로 分析하여 設計 確率降雨強度를 얻어서 그 降雨의 時間에 따른 分布形을 決定함으로써 얻어지게 된다.

本 研究에서는 設計降雨強度가 주어졌을 때 雨量柱狀圖를 決定할 수 있도록 그 流域의 降雨時間 分布 特性을 나타낼 수 있는 降雨形狀 分析을 획득한 資料를 利用하여 行하였다. Huff<sup>5,6,7,8,9,10)</sup>는 美國 일리노이주의 降雨 記錄을 統計學的으로 分析하여 降雨量의 時間

分布를 表示하는 關係曲線을 얻어서 實在 設計流量 算定에 適用할 수 있도록 하였으며 또한 이를 擴張하여 降雨의 空間的 分布와의 關係도 糾明하였다. 또한 Hall & Kneen<sup>11)</sup>은 Australia의 重要 8개 都市에 대한 降雨 形狀 分析을 하여 이를 實務에 適用하였다.

本 研究에서는 過去の 實測된 降雨量資料를 統計學的으로 分析하여 降雨形狀 分析結果를 提示하였다.

### 2. 降雨資料 分析

#### 2.1 資料의 選定

小流域의 計劃洪水量을 決定한다가나 小規模 水工構造物의 設計流量 算定時 전술한 바와같이 單位圖法이라던가 시뮬레이션 모델技法의 效率의인 適用을 爲해서는 降雨量의 時間分布 特性을 나타내는 關係 曲線이 地域 및 流域別로 作成되어함은 물론이며 특히 우리나라 地形 特徵이 山岳形이므로 이러한 分析이 우리나라 全域에 걸쳐 이루어져야 그 地域 혹은 流域의 보다 正確한 設計流量을 決定할 수 있다.

本 研究에서는 未計測 小流域 및 都市 地域의 設計流量 算定을 爲한 降雨形狀 分析에 目的을 두었으므로 資料의 記錄年數가 길고 利用도가 많은 서울 地域에 限定하여 그 地域의 過去 實測된 降雨資料를 使用하여 降雨形狀 分析을 하였다. 雨量資料는 中央觀象臺에서 計測한 31年(1947~1950, 1954~1980) 間의 資料<sup>12)</sup>를 使用하였으며 自記紙에 記錄된 累加雨量 曲線이 表示하는 값을 數值化하는데 따른 다소의 誤差가 있을것으로 思料되나 이러한 誤差가 全般的인 降雨量의 時間分

布 樣相에 미치는 영향은 크지 않으므로 誤差의 處理 方法은 고려하지 않았으며 累加雨量 曲線이 部分的인 計器의 故障으로 因하여 不確實한 값을 나타낼 경우는 資料에서 除外시켰다. 또한 年中 降雨의 選定은 6月~9月(4個月)에 發生된 降雨만을 選擇하였으며 그중에서도 總降雨量이 20mm以上되는 降雨을 抽出하였다. 이는 우리나라의 降雨特性<sup>13)</sup>은 심한 季節性이며 年平均 降雨量의 대부분인 2/3가 이 期間동안에 偏在되어 있어서 河川의 洪水流量은 이 期間동안에 發生되기 때문에 다른 期間의 降雨은 對象에서 除外시켰다.

2.2 降雨와 流出間의 關係

水工構造物의 設計에 必히 決定할 事項은 그 構造物의 目的에 따라 機能을 充分히 발휘할 수 있는 設計頻度이며 통상 이는 降雨의 再現期間의 項으로 表示되는 것이 一般的이다. 이와같이 設計頻도가 決定되면 그 設計頻도에 따른 降雨의 持續時間, 降雨強度, 降雨量의 時間의 分布 等과 같은 降雨因子를 算定해야한다.

設計降雨 持續時間의 決定은 都市地域에서는 流域出口까지 到達하는데 所要되는 時間을 降雨의 持續時間으로 취하는 것이 一般的이며 이와같이 構造物의 設計頻도와 持續時間이 決定되면 I-D-F曲線<sup>14)</sup>으로부터 設計雨量을 얻어낼 수 있다. 流域面積이 크지않은 流域으로부터 洪水量을 排除한다거나 都市 排水構造物과 같은 小規模 水工構造物의 設計流量 算定은 主로 合理式과 같은 經驗式에 依存하여 왔다.

특히 最近에 와서는 시뮬레이션 모델技法<sup>15)</sup>이 많이 開發되어 應用되고 있으며 이 方法은 降雨나 流出間의 關係를 流域特性에 맞도록 모델化한 것이다. 또한 實務에 많이 適用되고 있는 單位圖法이 있는바 이는 設計地域에 대하여 選定된 降雨分布形에 單位圖를 適用하여 設計水文曲線을 얻음으로써 設計流量을 求하는 方法이다.

이 方法의 一般的인 順序는<sup>16)</sup> 構造物의 設計頻도 및 持續時間을 決定하고 이에 해당하는 設計降雨量을 降雨強度持續期間一生起頻度<sup>14)</sup> 曲線으로 부터 決定하며 損失雨量을 除外한 有効雨量, 즉 直接流出量을 求하고 設計地域에 대한 單位圖를 作成하여<sup>17,18)</sup> 設計降雨量의 時間的 分布를 設計條件에 맞도록 決定하고 그 雨量柱狀圖를 單位圖에 適用함으로써 設計水文曲線을 얻게되며 이로부터 設計流量을 算定할 수 있다.

3. 降雨의 形狀分析

3.1 降雨의 時間的 分布

總 降雨量이 20mm 以上되는 選定된 降雨에 있어서 降雨와 降雨사이의 3時間 以內的 無降雨 狀態는 別個

의 降雨로 分類하지않고 연속된 1個의 降雨로 취급하였는 바 이렇게 分類된 降雨의 總數는 약 400個였으며 持續時間 別로 보면 最小 30分에서 最高 41時間을 가진 降雨들이었다. 이와같이 選定된 降雨의 形狀分析을 爲해서는 全降雨에 대한 總降雨量의 時間分布 樣相을 얻을수 있으나 이를 보다 詳細히 分析하기 爲해서는 全降雨를 持續時間別, 降雨量別, 等으로 分類하여 解析할 수 있는 바 本分析에서는 Huff<sup>9)</sup>에 의한 四分位法에 의해 全降雨를 分類하였다. 이는 연속적인 一定時間 間隔(30分)의 降雨量 漸進累加值(Successive Sumation) 曲線의 그 最大 部位가 總降雨 持續期間을 4等分 하였을 경우 어느 部分에서 나타나는가를 파악한 것이다. 즉 降雨持續時間을 4等分하여 降雨 初期에 해당하는 처음 1/4區間을 第1區間 降雨(First-quartile storm), 다음 1/2區間에 있을경우 第2區間 降雨(Second-quartile storm), 다음 3/4區間에 있으면 第3區間 降雨(Third-quartile storm) 그리고 마지막 區間일 경우는 第4區間 降雨(Fourth-quartile storm)로 分類한것이다. 第1區間 降雨의 時間分布는 降雨의 初期 段階에서 降雨量의 最大値가 發生되는 것을 나타내는 것이며 第4區間 降雨는 降雨量의 最大値가 마지막 部分에서 나타남을 意味한다. 이와같이 對象降雨 資料들을 4 그룹으로 分類하는 것은 降雨形態가 流出에 미치는 영향이 크기 때문에 最大値가 發生되는 位置에 따른 영향을 고려한다는 면에서도 意味가 있다고 보겠다.

3.2 降雨의 形狀分析

降雨量의 時間的 分布는 한 流域으로부터의 流出特性에 큰 영향을 주게되며 流域의 計劃洪水量을 決定하는데 必的인 情報이다. 따라서 한 流域에 내리는 降雨의 時間的 分布特性은 過去의 降雨記錄을 充分히 使用하여 降雨의 持續時間 및 總降雨量에 대한 百分比에 의해 無次元 曲線의 形態로 表示하는 것이 一般的이다 本分析에서는 前述한 바와같이 4個의 그룹으로 分類된 各 降雨資料들의 時間分布를 無次元化 시키기 爲하여 個別 降雨의 累加時間과 이에 따른 降雨量을 累加降雨時間 百分率과 累加雨量 百分率로 表示하였다.

즉,

$$PT_i = \frac{T_i}{T_0} \times 100(\%) \tag{1}$$

$$PR_i = \frac{R_i}{R_0} \times 100(\%) \tag{2}$$

여기서

$PT_i$  : 累加 降雨時間 百分率

$T_0$  : 總 降雨持續時間

$T_i$  : 降雨時間(Storm time)

$PR_i$  : 累加 降雨量 百分率

$R_0$ : 總 降雨量

$R_i$ :  $T_i$ 에 대한 累加 降雨量

이와 같이 얻어진 累加 降雨時間 百分率은 降雨別 持續時間이 서로 相異하기 때문에 同一한 累加 降雨時間 百分率에 대한 累加 降雨量 百分率의 값들을 比較 分析하기가 곤란하므로 1% 間隔의 累加 降雨時間 百分率에 대한 累加 降雨量 百分率을 補間法에 의해 재환산 하였다. 이와같이 表示된 降雨의 持續時間과 降雨量은 百分率로 表現되므로 이것은 資料가 지니는 特殊性을 歪曲시키지 않으면서 分析의 便易性和 降雨들間의 正確한 比較分析을 爲하여서 合理的이라 할 수 있으며 全降雨에 있어서 同一한 累加 降雨時間 百分率에 대한 累加 降雨量 百分率을 크기 順으로 나열하여 그에 대한 坡度確率을 求할수 있다. 本 分析에서는 10% 間隔의 頻度確率에 대한 累加 降雨時間-降雨量 百分率關係曲線을 4個의 그룹別로 作成하였다.

4. 分析結果 및 考察

서울 地域의 過去 31年間의 降雨量 資料를 降雨形狀 分析에 利用하기 爲하여 이들 資料의 特性을 分析한바 Quartile別 降雨의 頻度百分率과 各 Quartile別 降雨의 持續期間 및 降雨量에 대한 頻度百分率은 表(1), (2)와 같다.

表(1)에서 보는바와 같이 서울地域에서는 Second Table 1. Percentage Distribution of Quartile Types. (Duration)

Quartile	Percentage for Given Duration (hours)				Quartile (%)
	<6	6~12	12~24	>24	
1	26	36	32	6	28
2	21	31	39	9	39
3	14	35	33	18	27
4	12	56	24	8	6
All Storms	22	35	33	10	100

Table 2. Percentage Distribution of Quartile Types. (Storm Rainfall)

Quartile	Percentage for Given Rainfall (mm)						
	20~30	30~40	40~50	50~60	60~100	100~200	>200
1	36	21	15	10	7	6	5
2	30	24	13	8	15	9	1
3	34	18	8	8	20	11	1
4	24	16	16	12	12	16	4
All Storms	33	20	14	10	15	9	1

Quartile型 降雨의 頻度가 가장 높았으며 First Quartile, Third Quartile型 降雨의 頻度는 비슷한 경향이며 특히 Fourth Quartile型 降雨의 頻度는 대단히 낮음을 알 수 있는데 이는 서울 地域에 發生된 降雨은 降雨量의 대부분이 總降雨 持續期間中 마지막 區間에서 發生된 경우는 極히 적음을 알 수 있다.

一般的으로 Quartile型 降雨와 持續期間과의 關係를 보면 降雨의 持續期間이 길수록(24時間 以上) First Quartile型 降雨의 頻度가 낮음을 알 수 있고, Second Quartile型 降雨의 頻度는 대개 持續時間이 6~12時間인 경우에 높게 나타남을 알 수 있었으며 Third Quartile型 降雨에 있어서는 역시 First Quartile型 降雨의 경우와 비슷하나 持續時間이 6時間 以下에서 發生되는 頻度가 가장 낮음을 알 수 있다. 또한 Fourth Quartile型 降雨는 持續期間인 6~12時間인 경우에 50% 以上이 나타남을 알 수 있다.

表(2)는 Quartile型 降雨에 대한 總降雨量別 頻度百分率을 表示하고 있는바 30mm 以下の 降雨量을 갖는 頻度가 가장 높음을 알 수 있다.

그림 (1), (2), (3), (4)는 서울 地域의 過去 降雨記錄으로부터 얻은 降雨量의 時間的 分布를 表示하는 關係曲線으로 各 Quartile別 降雨의 時間分布 曲線을 10% 間隔의 確率로 表示하였으며, 水工構造物의 設計流量 算定을 爲한 設計降雨의 雨量柱狀圖는 가장 頻度가 높은 區間降雨의 時間分布 曲線을 使用함이 타당하겠다.

實例로서 서울地域에 있어서 水工構造物의 設計流量 算定을 爲해서는 Second Quartile型 降雨의 頻度가 가장 높으므로 構造物의 重要性에 따라 적절한 頻度確率에 해당하는 關係曲線을 그림(2)로부터 選擇하여 이로부터 設計降雨에 대한 雨量柱狀圖를 얻음으로서 設計

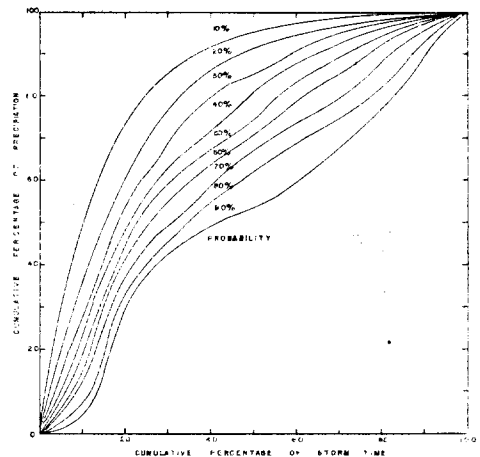


Fig. 1. Time distribution of first-quartile storms.

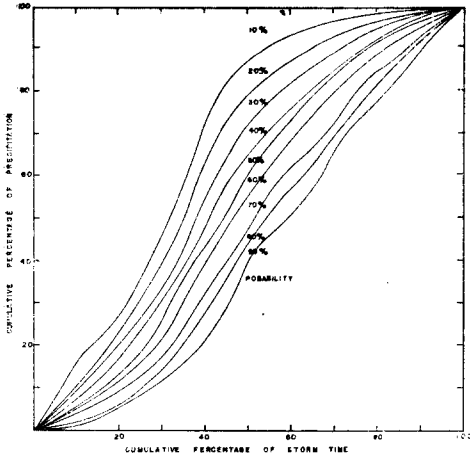


Fig. 2. Time distribution of second-quartile storms.

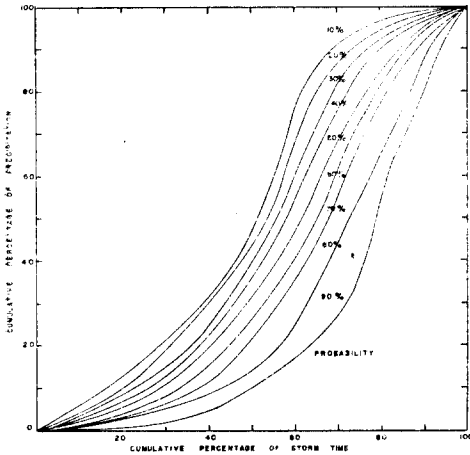


Fig. 3. Time distribution of third-quartile storms.

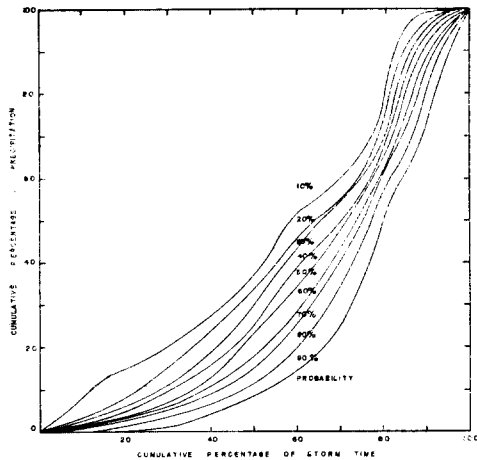


Fig. 4. Time distribution of fourth-quartile storms.

流量을 算定할 수 있다. 또한 第2區間降雨의 時間分布를 表示하는 各 頻度別 曲線을 利用하여 流域面積이 작은 小流域을 擇하여 合成單位圖 解析方法으로 設計流量을 算定한 結果 各 頻度確率別 流量의 크기는 큰 차이가 없었으며 頻度確率이 커질수록 尖頭流量의 發生時間이 늦어짐을 알 수 있었다.

따라서 어떤 構造物의 耐用安全率 개념을 導入하지 않는 경우 一般的인 水工構造物의 設計流量 算定은 頻度確率 50%의 曲線을 使用해도 좋을 것으로 본다.

그림(5)는 各 Quartile型 降雨의 確率 50%의 時間分布 曲線(그림 1~4)으로부터 얻은 頻度確率에 따른 雨量柱狀圖을 10%씩 增加해지는 降雨時間에 대한 總降雨量의 百分率을 表示하고 있으며 이는 小流域의 設計流量을 決定하기 爲해서 有用하게 使用되리라 본다.

第1區間 降雨(First Quartile Storms)의 頻度確率 50%의 時間分布 曲線이 나타내는 雨量柱狀圖을 보면 總降雨量의 약 30%가 總降雨時間의 두번째 10%內에서 發生됨을 나타내고 總降雨量의 50% 以上이 總降雨時間의 30% 以內에서 發生됨을 알 수 있다. 또한 第2區間 降雨는 總降雨量의 약 35% 以上이 總降雨持續期間의 4,5區間인 30~50% 區間에서 發生되며 第4區間 降雨의 경우 總降雨量의 약 40%가 總降雨持續

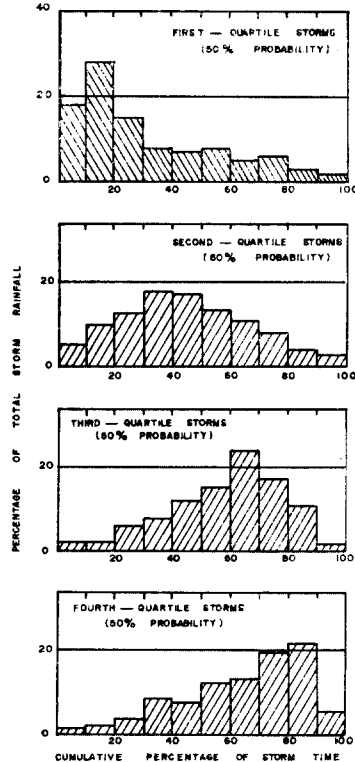


Fig. 5. Selected histograms for each quartile storms.

期間의 마지막 2,3번째 區間에서 發生됨을 表示하고 있다.

## 5. 結 論

小流域의 計劃 洪水量 혹은 都市地域의 排水構造物과 같은 小規模 水工 構造物의 設計流量 算定을 爲한 設計降雨의 雨量柱狀圖를 얻기 爲해 서울地域의 降雨 形狀分析을 한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 서울 地域에서는 第2 區間 降雨의 頻도가 가장 높았고 第4 區間 降雨의 頻도는 매우 낮았다. 서울 地域에서 設計流量 算定을 爲한 設計降雨의 雨量柱狀圖는 第2 區間 降雨의 時間分布 曲線을 使用함이 適當하다.

2) 各 頻度確率別 時間分布 曲線이 表示하는 雨量柱狀圖를 使用하여 設計流量을 算定한 結果 큰 차이가 없으므로 小規模 水工構造物의 設計流量 算定은 頻度確率 50% 曲線을 使用해도 좋을 것으로 본다.

3) 本 分析에서는 서울地域의 點雨量資料만을 使用하였는바 보다 正確한 結果를 얻기 爲해서는 계속 資料를 擴張하고 인근의 雨量資料를 함께 利用하여 降雨量의 空間의 分布에 대한 分析도 함께 고려함이 바람직하다고 본다.

4) 本 分析에서는 全降雨를 4개의 形態로만 分類하여 解析하였는바 이를 降雨量別 및 持續時間別 및 降雨強度別 小그룹으로 재分類하여 分析하면 보다 詳細한 結果를 얻을 수 있으리라 본다.

## REFERENCE

1. 建設部 : 재해년보, 1979年
2. Ven Te Chow: Handbook of Applied Hydrology, McGraw Hill Book Company, 1964, pp.14 6~8
3. Eagleson, P.S.: "Unit hydrograph characteristics for sewered area," Journal of Hydrolic Division, Vol. 88. 1962, pp.1~25
4. Martin, P.W.: "Stormwater Management (Quantity and Quality)," Ann Arbor Science Publisher Inc., 1979. pp.265~301.
5. Huff, F.A.: "Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms", Water Resources Research, Vol. 3, No. 4, 1967, pp.1007~1019.
6. Huff, F.A. "Spatial Distribution of Heavy Storm Rainfalls in Illinois", Water Resources Research, Vol. 4, No. 1, 1968. pp.47~54.
7. Huff, F.A. and Shipp, W.L.: "Rainfall Variability Relations on Small Areas", Transaction Illinois Academy of Science, Vol. 61, No. 2, 1968, pp.157~164.
8. Huff, F.A. and Shipp, W.L.: "Spatial Distribution Characteristics of Rainfall Rates in Illinois", Transactions Illinois Academy of Science, July 7, 1969, pp.57~62.
9. Huff, F.A.: "Spatial Distribution of Rainfall Rates", Water Resources Research, Vol. 6, No. 1, 1970, pp.254~260.
10. Huff, F.A.: "Time Distribution Characteristics of Rainfall Rates", Water Resources Research, Vol. 6, No. 2, 1970, pp.447~454.
11. Hall, A.G. and Keen, T.H.: "Design Temporal Patterns of Rainfall in Australia."
12. 中央觀象臺: "自記雨量記錄紙", 1947~1980까지의 資料
13. 韓英鎬: "現代氣象學", 進明文化社, 1981, pp.285~295.
14. 李元煥: "都市河川 및 下水道 改修計劃上의 計劃降雨量 設定에 관한 推計學的 解析", 대한 토목학회지 28-4, 1980, pp.81~94.
15. Terstriep, M.L. & J.B. Stall: "The Illinois urban Drainage area simulator", Illinois State Water Survey, Urbana, Illinois, 1974.
16. 尹龍男: "水文學" 淸文閣, 1977. pp.330~343.
17. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service.: "Urban Hydrology for Small Watersheds", Technical Release No. 55. Washington, DC (1975)
18. 建設部: "洪水量 推定을 爲한 合成單位 流量圖 誘導의 研究調查 報告書", 1974, pp.147~159, pp.187~220.