

# 暴雨의 時間的 分布에 關한 研究

## Studies on the Time Distribution of Heavy Storms

李 根 厚\*  
Lee, Keun Hoo

### Summary

This study was carried out to investigate the time distribution of single storms and to establish the model of storm patterns in Korea.

Rainfall recording charts collected from 42 meteorological stations covering the Korean peninsula were analyzed. A single storm was defined as a rain period separated from preceding and succeeding rainfall by 6 hours and more.

Among the defined single storms, 1199 storms exceeding total rainfall of 80 mm were qualified for the study.

Storm patterns were classified by quartile classification method and the relationship between cumulative percent of rainfalls and cumulative storm time was established for each quartile storm group. Time distribution models for each stations were prepared through the various analytical and inferential procedures.

Obtained results are summarized as follows:

1. The percentile frequency of quartile storms for the first to the fourth quartile were 22.0%, 26.5%, 28.9% and 22.6%, respectively. The large variation of percentile frequency was show between the same quartile storms.

The advanced type storm pattern was predominant in the west coastal area while the delayed type was predominant in the south coastal area.

2. The single storms with large total rainfalls tended to show delayed type storm patterns predominantly when compared to the single storms with small total rainfalls.
3. The single storms with long storm durations tended to show delayed type storm patterns predominantly when compared to the single storms with short storm durations.
4. The percentile time distribution of quartile storms for 42 rain gaging stations was estimated. Large variations were observed between the percentiles of time distributions of different stations.

---

\* 慶尙大學校 農科大學

5. No significant differences were generally found between the time distribution of rainfalls with greater total rainfall and with less total rainfall.

This fact suggests that the size of the total rainfall of single storms was not the main factor affecting the time distribution of heavy storms.

6. Also, no significant differences were found between the time distribution of rainfalls with long duration and with short duration.

The fact indicates that the storm duration was not the main factor affecting the time distribution of heavy storms.

7. In Korea, among all single storms, 39.0% show 80 to 100mm of total rainfall which stands for the mode of the frequency distribution of total rainfalls.

The median value of rainfalls for all single storms from the 42 stations was 108mm. The shape of the frequency distribution of total rainfalls showed right skewed features. No significant differences were shown in the shape of distribution histograms for total rainfall of quartile storms.

The mode of rainfalls for the advanced type quartile storms was 80~100mm and their frequencies were 39~43% for respective quartiles. For the delayed type quartile storms, the mode was 80~100mm and their frequencies were 36~38%.

8. In Korea, 29% of all single storms show 720 to 1080 minutes of storm durations which was the highest frequency in the frequency distribution of storm durations. The median of the storm duration for all single storms from 42 stations was 1026 minutes. The shape of the frequency distribution was right skewed feature. For the advanced type storms, the higher frequency of occurrence was shown by the single storms with short durations, whereas for the delayed type quartile storms, the higher frequency was shown by the long duration single storms.

9. The total rainfall of single storms was positively correlated to storm durations in all the stations throughout the nation.

This fact was also true for most of the quartile storms.

10. The third order polynomial regression models were established for estimating the time distribution of quartile storms at different stations. The model test by relative error method resulted good agreements between estimated and observed values with the relative error of less than 0.10 in average.

## I. 緒 論

暴雨의 時間的 分布를 究明하는 것은 地球物理學的, 氣象學的 側面에서도 매우 重要하지만<sup>44)</sup> 水文學, 特히 流出解析에는 絶對的인 必要性을 갖는다. 流出시스템의 入力資料로서의 暴雨에 對한 分析은 過去에는 主로 I·D·F의 分析에 重點이 두어져 왔다.<sup>45,46)</sup> 그러나 長期 流出解析과 같은 새로운 流出解析方法에 相應하는 降雨特性의 表現方法으로서는

過去の 確率降雨強度 만으로는 不充分 하게 되었다. 여기에 는 보다 正確한 暴雨의 情報, 即, 實際의 降雨現象을 充實하게 表現하는 連續降雨形曲線인 降雨의 時間的 分布模型이 必要하게 되었다.

Nash(1958)<sup>48)</sup>, Dawdy等(1969)<sup>49)</sup>, Forgel(1969)<sup>50)</sup>, Wei等(1971)<sup>49)</sup>, Viessman等(1977)<sup>47)</sup>의 報告는 모두 暴雨의 時間的 分布에 對한 理解와 究明의 必要性들을 強調하고 있다.

暴雨의 波形은 完全한 自然現象의 하나 이기 때문에 形態가 多樣하고 複雜하여 그 特性을 定量的

으로 分析 把握한다는 것이 결코 容易한 일은 아니다. 그것은 暴雨의 波形을 決定하는 要因이 氣象條件, 地形要素 등을 위시하여 대단히 많고 또 그들 相互作用으로 因하여 無數히 많은 波形을 만들어 내기 때문이다.

지금까지 暴雨의 波形을 究明하는데는 여러가지의 接近方法이 使用되어 왔다. 크게는 純 氣象學的인 立場과 應用的 立場에서 暴雨波形을 理解하려는 試圖로 나눌수 있다.

氣象學的인 側面에서의 研究로는 Grunow(1961)<sup>33</sup>와 成瀨, 丸山(1963)<sup>34</sup>의 研究가 있다.

應用的 立場에서 降雨의 波形을 究明하려는 勞力은 다시 두가지의 接近方式을 利用하여 이루어졌다.<sup>43</sup>

그 하나는 確率統計의 立場에서 降雨의 波形을 理解하는 方式으로서 降雨波形 構成要素의 統計의 性質을 究明하여 이것을 再結合 시키는 方法<sup>35, 28, 29</sup>과 一連의 降雨의 時間配分 過程을 無作爲(random)인 것으로 보고 그것의 確率構造를 把握하는 方法이 있다.<sup>1, 2, 38, 39, 87</sup>

다른 한가지 方法은 決定論的 立場에서 降雨의 波形을 究明하여 보려는 것으로 이 方法은 實用性을 爲主로 한 接近方式으로서 Eagleson(1978)<sup>39</sup>이 말한 바와 같이 一定한 氣候條件下에서는 一定規模의 降雨은 그 時間的 分布가 매우 비슷하게 再現되는 수가 많다는 생각에 基礎를 둔 것이다.

本 研究에서는 決定論的 立場에서 暴雨의 時間的 分布 模型을 作成코자 하며 決定論的 立場에서의 既存研究들은 다음과 같다.

美國에서는 Keifer and Chu (1957)<sup>23</sup>, SCS (1964)<sup>40</sup>, USBR(1965)<sup>45</sup>, Huff(1967)<sup>12~24</sup>, Kerr 等 (1970)<sup>29</sup> 等の 研究가 있으며 특히 Huff는 많은 研究를 하였고 四分期分類法(Quartile Classification Method)에 依한 暴雨의 波形分類를 試圖하였다.

Pilgrim(1976)<sup>41</sup>, Hall(1977)<sup>42</sup> 등은 濠洲全域에 걸친 暴雨 또는 burst의 時間的 分布를 發表하였다.

田中(1972)<sup>44</sup>, 金子(1978)<sup>27</sup> 등은 日本에서의 暴雨波形에 關한 研究結果를 報告한바 있다.

우리나라에서는 朴(1964)<sup>30</sup>, 徐(1965)<sup>42</sup>, 李(1977)<sup>30</sup>, 李(1981)<sup>32</sup>, 朴等(1981)<sup>38</sup>, 徐等(1981)<sup>43</sup>, 李等(1982)<sup>31</sup>, 의 研究가 있다.

本 研究에서는 具體的으로 다음과 같은 事項들을 究明코자 한다.

첫째, 韓國에 있어서 暴雨의 分布形과 그 特性의

究明

둘째, 各 分布形別 雨量配分率의 究明

셋째, 暴雨의 分布形 및 雨量配分率의 決定에 影響을 미치는 因子의 究明

넷째, 暴雨의 時間的 分布模型 作成 等이다.

## II. 資料 및 分析方法

### 1. 降雨資料

中央氣象臺 傘下의 全體 觀測所中 大略 10年 以上의 自記降雨記錄을 保有하고 있는 42個 觀測所에서 蒐集한 降雨資料를 研究對象으로 하였다.

各 觀測所의 個個 降雨自記記錄中 任意降雨의 前後에 6時間 以上의 降雨休止期間을 갖는 連續降雨로서 總降雨量이 80mm 以上의 것만을 選拔하여 이를 單一暴雨(single storm)라 定義하고 이들을 分析對象으로 하였다. 單一暴雨들은 10分 單位의 累加降雨量 形態로 읽어 數值化하였다.

Fig.1은 研究對象이 된 42個 觀測所의 位置와 名稱을 나타낸 것이다.

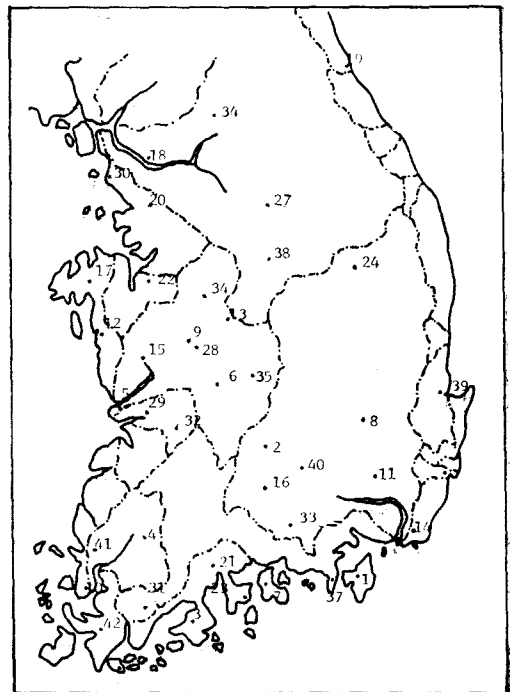


Fig. 1. Location map of rain gaging stations

2. 分析方法

分析節次는 Fig. 2와 같은 順序로 하였다.

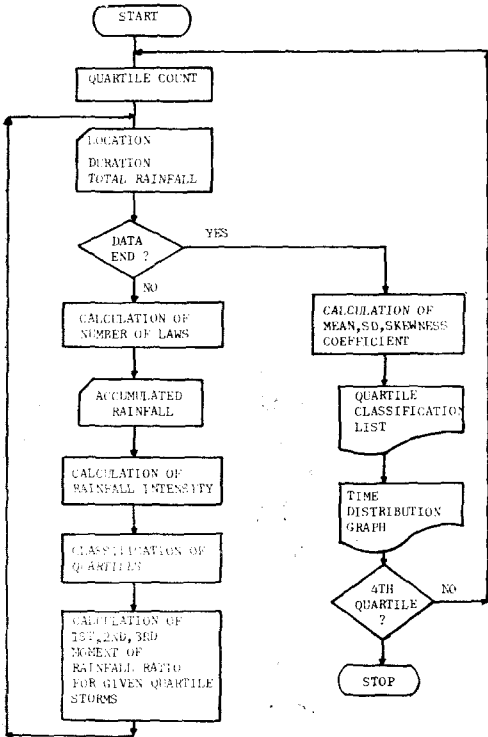


Fig. 2. Schematic diagram showing the storm pattern analysis procedure

各 段階別 分析方法은 다음과 같다.

1) 暴雨波形的 分類

本 研究에서는 Huff의 4分期分類法<sup>12)</sup>을 使用하였다. 即 30分單位로 作成된 任意地點의 個個 雨量柱狀圖에서 該當 單一暴雨의 持續時間을 4等分하여 이것을 降雨始點부터 第1, 第2, 第3, 第4分期로 命名하고 雨量柱狀圖上에서 最大降雨強度를 보이는 時刻이 全 持續時間의 어느 分期에 該當되는가에 따라 第1分期型, 第2分期型, ……等으로 分類하였다.

2) 雨量配分率의 計算

各 分期別로 各各의 單一暴雨에 對한 降雨持續時間比와 降雨量比를 다음 式으로 計算하였다.

$$TT(i) = \frac{T(i)}{TD} \dots\dots\dots(1)$$

여기에서  $TT(i)$ : 任意時刻  $T(i)$ 에서의 降雨持續

時間比

$T(i)$ : 番號 時刻의 降雨始作後, 經過 時間(分)

$TD$ : 總降雨持續時間(分)

$i$ : 單位增分回數

本 研究에서는  $i$ 의 最大値를 10으로 하였기 때문에  $TT(i)$ 는 0.1~1.0까지 10段階로 固定시킨 結果가 되었다.

$$RR(i) = \frac{R(i)}{TR} \dots\dots\dots(2)$$

여기에서  $RR(i)$ : 任意時刻  $T(i)$ 에서의 降雨量比  
 $R(i)$ : 任意時刻  $T(i)$ 까지의 累加雨量 (mm)

$TR$ : 單一暴雨의 總降雨量(mm)

3) 發生確率別 雨量配分率 計算

任意地點의 모든 單一暴雨들에 對한 波形分類와 降雨持續時間比 및 降雨量比의 計算이 끝나면 各分期別로 任意의 降雨持續時間比에 對應하는 모든 降雨量比를 變數로 하여 이들의 發生確率別 값을 計算한다.

確率量의 計算은 Log-Pearson Type III 確率分布 函數의 頻度係數法을 利用하였다.<sup>13)</sup>

4) 暴雨의 時間의 分布 模型 作成

任意地點의 雨量配分率表를 土臺로하여 이를 多項式 模型으로 作成하였다.

以上の 分析節次를 各 地點單位를 適用하여 反復 實施한다. 모든 作業은 慶尙大學校의 PDP11/34電算 시스템(256K)에 의하여 遂行하였다.

III. 暴雨의 特性分析

1. 暴雨의 波形分類

1) 地點別 暴雨波形

各 觀測所別로 暴雨의 波形을 分類한 結果가 Table-1에서 보는 바와 같이 百分率頻度의 形態로 나타나 있다. 例를 들어 巨濟의 경우 第1分期型 暴雨는 全體暴雨數의 9.8%, 第2分期型이 29.3%, 第3分期型이 36.6% 그리고 第4分期型은 24.4%로 되어 있다. 따라서 巨濟地點에서는 第3分期型 暴雨가 가장 많이 出現하고 第1分期型 暴雨가 가장 적게 出現함을 알 수 있다.

42個 觀測所에 대한 各 分期別 暴雨의 平均의인 出現頻度는 第1分期型이 22.0%, 第2分期型이 26.5%, 第3分期型이 28.9%, 그리고 第4分期型이

暴雨의 時間的 分布에 關한 研究

Table-1. Percentage frequency of quartile storms at different stations

Unit: %

Serial No.	Station name	Quartiles			
		First	Second	Third	Fourth
1	Geoje	9.8	29.2	36.6	24.4
2	Geochang	11.0	16.7	38.9	33.3
3	Goheung	20.0	22.9	34.3	22.8
4	Gwangju	24.2	33.3	15.2	27.3
5	Gunsan	40.0	15.0	30.0	15.0
6	Geumsan	14.3	28.6	21.4	35.7
7	Namhae	12.1	27.3	48.5	12.1
8	Daegu	33.3	18.5	18.5	29.7
9	Daejeon	28.0	28.0	28.0	16.0
10	Mokpo	13.6	27.3	25.0	34.1
11	Milnang	21.7	34.8	30.5	13.0
12	Boryeong	25.0	41.7	16.7	16.6
13	Boeun	23.1	38.5	15.4	23.1
14	Busan	8.6	32.9	31.4	27.1
15	Buyeo	30.0	15.0	25.0	30.0
16	Sancheong	29.2	16.6	41.7	12.5
17	Seosan	16.0	28.0	28.0	28.0
18	Seoul	20.7	19.6	29.3	30.4
19	Sokcho	25.0	25.0	20.0	30.0
20	Suwon	15.2	36.4	24.2	24.2
21	Seungju	23.4	23.4	33.3	20.0
22	Asan	33.3	16.7	33.3	16.7
23	Yeosu	26.9	21.2	28.8	23.1
24	Yeongju	21.4	28.6	21.4	28.6
25	Wando	16.7	30.0	23.3	30.0
26	Ulsan	13.6	36.4	34.1	15.9
27	Wonseong	33.3	16.7	25.0	25.0
28	Yuseong	12.5	43.8	25.0	18.7
29	Iri	34.8	26.1	26.1	13.0
30	Incheon	29.5	31.8	22.8	15.9
31	Jangheung	11.1	25.9	40.7	22.3
32	Jeonju	21.7	35.0	25.0	18.3
33	Jinju	16.0	32.0	40.0	12.0
34	Cheongju	27.6	20.7	27.6	24.1
35	Chupungyeong	20.0	28.0	30.0	22.0
36	Chuncheon	33.3	19.0	19.0	28.7
37	Chungmu	18.2	24.2	42.4	15.2
38	Chungju	25.0	15.0	35.0	25.0
39	Pohang	20.8	20.8	41.7	16.7
40	Habcheon	20.0	30.0	20.0	30.0
41	Hampyeong	24.0	24.0	32.0	20.0
42	Haenam	20.0	30.0	30.0	20.0
	Mean	22.0	26.5	28.9	22.6

22.6%이었다. 結局, 出現頻도가 가장 높은 것은 第3分期型 降雨임을 알 수 있고 第1分期型과 第4分期型은 出現期待頻度인 25%에 미치지 못함을 알 수 있다.

이러한 結果를 Huff(1967)<sup>12)</sup>가 Illinois에서 行하였던 觀測值의 分析 結果와 比較하여 보면 약간의 差異가 난다. 卽, Illinois의 경우는 全體的으로 第1 및 第2分期型 暴雨가 數的으로 優勢하였으나 우리나라는 第3分期型 暴雨가 많다는 點이다.

暴雨波形의 出現頻도는 地點間에 많은 差異를 나타낸다. Table-2는 暴雨波形別로 가장 出現頻도가 높은 暴雨波型을 보이는 地點들을 分類하여 整理한 것이다.

第1分期型이 가장 優勢한 觀測所는 群山等 9個 地點이고 第2分期型의 경우는 光州等 11個 地點, 第3分期型은 巨濟等 15個 地點 그리고 第4分期型에는 居昌等 7個 地點이었다.

暴雨型의 分期別 出現頻도가 地點間에 어떤 類似性이 있는지의 與否를 檢討하였으나 뚜렷한 傾向을 發見할 수는 없었다. 다만, 仁川, 水原, 牙山, 瑞山等 中部 西海岸 그리고 保寧, 群山, 扶安, 威坪等 南部 西海岸 一帶는 前半期(第1 및 第2分期)型 暴雨의 出現頻도가 優勢하였고 長興, 高興, 昇州, 麗水, 南海, 晉州, 忠武, 巨濟, 釜山, 等 南海岸一帶와 一部 內陸地方은 後半期(第3 및 第4分期)型 暴雨가 優勢함을 알 수 있었다.

2) 總 降雨量別 暴雨波型

Table-3에서는 總 降雨量의 大小에 따라 地點別 暴雨波型의 分布가 어떻게 달라지는가를 보이고 있다.

釜山, 서울, 麗水, 蔚山, 仁川, 全州等 比較的 觀測期間이 長期인 6個의 地點에 대하여 各 觀測地點의 暴雨들을 總降雨量들의 中央值인 110mm를 基準으로 하여 그 以上인것과 以下인것으로 나눈 後 各 各의 波型을 分類하고 分期別 出現頻도를 百分率로 나타낸 것이다.

全體的으로 볼때 總 降雨量이 큰 暴雨들은 後半期型의 暴雨出現頻도가 많아지는 傾向을 보이고 있다.

3) 持續時間別 暴雨波型

持續時間의 長短에 따른 地點別 暴雨波型의 頻度 分布는 Table-4와 같다.

大部分의 地點에서 持續時間이 길면 最大의 出現頻도를 보이는 分期가 後半部쪽으로 移行하고 있다

Table-2. List of stations with maximum frequency for given quartiles

First half period				Second half period			
First quartile	Freq- uency	Second quartile	Freq- uency	Third quartile	Freq- uency	Fourth quartile	Freq- uency
Gunsan	40.0%	Gwangju	33.3%	Geoje	36.6%	Geumsan	35.7%
Daegu	33.3	Milyang	34.8	Geochang	38.9	Mokpo	34.1
Daejeon	28.0	Boryeong	41.7	Goheung	34.3	Seoul	30.4
Buyeo	30.0	Boeun	38.5	Namhae	48.5	Sokcho	30.0
Asan	33.3	Busan	32.9	Sancheong	41.7	Yeongju	28.6
Weonseong	33.3	Seosan	28.0	Seungju	33.3	Wando	30.0
Iri	34.8	Suweon	36.4	Yeosu	28.8	Habcheon	30.0
Cheongju	27.6	Ulsan	36.4	Jangheung	40.7		
Chuncheon	33.3	Yuseong	43.8	Jinju	40.0		
		Incheon	31.8	Chupung- ryeong	30.0		
		Jeonju	35.0	Chungmu	42.4		
				Chungju	35.0		
				Pohang	41.7		
				Hampyeong	32.0		
				Haenam	30.0		
9		11		15		7	

Table-3. Percentage distribution of quartile storms for given total rainfall

Station name	Total rainfall	Quartiles			
		First	Second	Third	Fourth
Busan	<110 min	8.6	37.1*	31.4	22.9
	>"	8.6	28.6	31.4*	31.4
	All storms	8.6	32.9	31.4	27.1
Seoul	<110 min	22.5	18.6	22.5	36.4*
	>"	22.5	17.5	32.5*	27.5
	All storms	20.7	19.6	29.3	30.4
Yeosu	<110 min	23.1	19.2	34.6*	23.1
	>"	28.0*	24.0	24.0	24.0
	All storms	26.9	21.2	28.8	23.1
Ulsan	<110 min	17.6	47.1*	23.5	11.8
	>"	11.2	29.6	40.7*	18.5
	All storms	13.6	36.4	34.1	15.9
Incheon	<110 min	35.0	45.0*	0.0	20.0
	>"	22.7	22.7	45.4*	9.2
	All storms	29.6	31.8	22.7	15.9
Jeonju	<110 min	30.8*	26.9	26.9	15.4
	>"	22.7	36.4*	22.7	18.2
	All storms	21.7	35.0	25.0	18.3

\* represents the highest frequency

暴雨의 時間的 分布에 關한 研究

**Table-4. Percentage distribution of quartile storms for given duration**

Station name	Duration	Quartiles			
		First	Second	Third	Fourth
Busan	<1320 min	5.7	37.1*	37.1	20.1
	>"	11.4	28.6	25.7	34.3*
	All storms	8.6	32.9	31.4	27.1
Seoul	<720 min	20.9	20.9	25.6	32.6*
	>"	24.4	14.6	29.2	31.8*
	All storms	20.7	19.6	29.3	30.4
Yeosu	<960 min	22.2	18.5	40.7*	18.6
	>"	29.2	25.0	16.7	29.1*
	All storms	26.9	21.2	28.6	23.1
Ulsan	<1440 min	13.0	43.4*	34.8	8.8
	>"	14.3	28.6	33.3*	23.8
	All storms	13.6	36.4	34.1	15.9
Incheon	<960 min	23.8	47.6*	14.3	14.3
	>"	33.3	19.0	33.3*	14.4
	All storms	29.5	31.8	22.8	15.9
Jeonju	<720 min	40.0	40.0*	16.0	4.0
	>"	13.0	21.7	34.8*	30.5
	All storms	21.7	35.0	25.0	18.3

\* represents the highest frequency

이러한 傾向은 總 降雨量이 暴雨의 波型에 미치는 影響보다는 더욱 確實하게 나타나 있다.

Hall (1977)<sup>10)</sup>은 最大降雨強度가 가장 普遍的으로 나타나는 時刻은 部分的으로 暴雨의 持續時間과 關聯이 있다고 報告하고 있는바 本 研究의 結果와 類似하다. 또 Huff(1967)<sup>12)</sup>도 持續期間이 길고 總降雨量이 많은 暴雨는 第4分期型으로 分類되는 傾向이 많고 짧은 持續期間을 갖는 暴雨는 第1 또는 第2分期型으로 分類되는 境遇가 많다고 報告하고 있어 本 研究結果와 一致하고 있다.

**2. 暴雨의 雨量配分率**

42個 觀測地點의 分期別 雨量配分率을 나타내는 그림 中에서 서울 地點의 것을 代表的으로 나타낸 것이 Fig.3이다.

時間에 따른 雨量配分率을 發生確率別로 나타낸 것은 一定한 分期에 屬하는 暴雨들이라 할지라도 任意的 降雨持續時間比에 對應하는 各各의 降雨量比間에는 많은 差異가 나기 때문이다. 따라서 各各의 降雨持續時間比에 對應하는 降雨量比들의 頻度

分析(II, 2, 3) 參照을 하여 發生確率 10%, 20%, 50%, 80%, 90%에 대한 降雨量比의 값을 計算하고 이를 雨量配分率이라 稱하였다.

Fig.3의 서울地方 第1分期型 暴雨의 경우 降雨持續時間比가 0.4일때 發生確率別 雨量配分率을 보면 10% 確率에서 0.42, 20%에서 0.46, 50%에서 0.55, 80%에서 0.65 90%에서 0.70이 된다. 卽, 서울地方에서 第1分期型 降雨가 있게되면 降雨持續期間이 總持續時間의 40%에 達하였을 때까지 내린 累加 降雨量이 總降雨量의 42%以內가 내릴確率은 10%, 46% 以內가 내릴 確率은 20%, 55%以內가 내릴 確率은 50%……等임을 意味하게 된다.

**3. 總 降雨量의 大小가 雨量配分率에 미치는 影響**

任意地點의 單一暴雨의 雨量配分率에 總 降雨量의 大小가 미치는 影響을 檢討하기로 한다. 卽, 同一地點의 同一分期型 暴雨라 할지라도 總降雨量의 크기가 달라짐에 따라 雨量配分率이 어떻게 變하는가를 究明하자는 것이다.

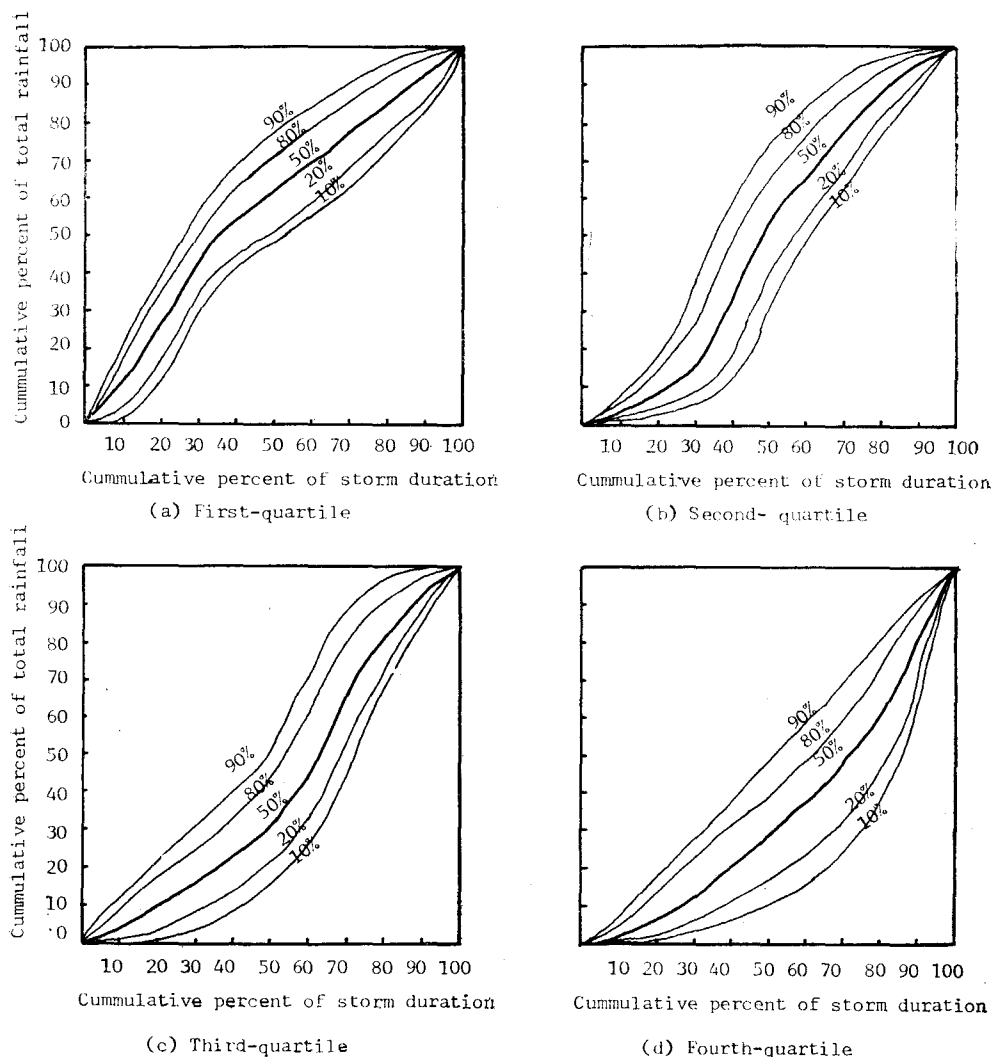


Fig. 3. Time distribution of quartile storms at Seoul

釜山, 서울,麗水,蔚山,仁川,全州等 6個地點에 對하여 各地點의 單一暴雨들을 各分期型別로 總降雨量 110mm를 基準으로 해서 그 以上 및 以下로 區分하고 各已 雨量配分率을 求한 後, 發生確率 50%에 相應하는 雨量配分率만을 選拔하여 比較하였고 이 中 서울의 것을 標本例로서 나타낸 것이 Fig.4이다.

對角線으로 그은 破線은 總降雨量의 大小에 關係없이 任意分期의 任意時間 配分率에 相應하는 雨量配分率의 값이 서로 같을 境遇에 플롯트되는 位置를 連結한 線이다. 따라서 플롯트된 點들이 對角線을 中心으로 一致하거나 가깝게 모여 있으면 總

降雨量의 크기에 相關없이 雨量配分率이 같다는 意味가 된다.

Fig.4를 살펴보면 서울의 경우 플롯트된 點들이 모든 分期別로 對角線을 中心으로 比較的 좁은 幅으로 分散되어 있다. 이것은 總降雨量의 크기가 雨量配分率에는 別로 影響을 미치지 못한 것으로 解析된다.

이를 檢定하기 爲하여 回歸分析을 遂行하였던바 6個地點 共히 總降雨量이 큰 境遇와 작은 境遇의 雨量配分率間에는 分期型에 關係없이 釜山의 第1分期를 除外하고는  $r=0.94^{**} \sim 0.99^{**}$ 의 相關이 認定되며 回歸係數  $b$ 는 0.90~1.15로서 1에 가까운 값



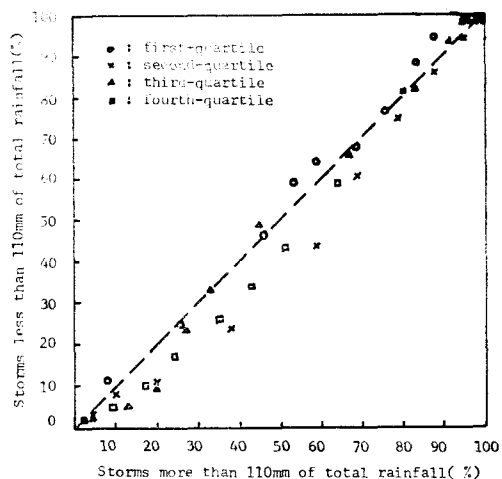


Fig. 4. Relation between cummulative percentiles of rainfall distribution more than 110mm and less than 110mm of total rainfalls at Seoul

을 보였다. 또한 絶片  $a$ 의 값도 釜山의 第1分期를 除外하고는  $-10.4 \sim 10.4$ 의 값을 보였다.

이러한 事實은 總降雨量의 크기에 相關없이 雨量配分率의 값이 完全히 一致하다고 할때  $a=0, b=1.0$ 이 될 것임에 비추어 本 研究의 境遇에는 總降雨量이 雨量配分率에 미치는 影響이 별로 크지 않다는 結論을 내릴수 있게 된다.

#### 4. 持續時間의 長短이 雨量配分率에 미치는 影響

Fig.5는 서울地點의 경우 持續時間이 짧은 경우와 긴 경우의 雨量配分率을 同一 時間配分率에 對하여 플롯트한 그림이다.

플롯트된 點들이 對角線에 가까이 分散되어 있으므로 總降雨量의 경우와 마찬가지로 同一地點 同一分期型 暴雨들의 持續期間 長短이 雨量配分率에 별로 影響을 미치지 못했음을 알 수 있었다.

以上の 結果를 檢定키 위하여 回歸分析한 結果 持續期間이 긴 暴雨와 짧은 暴雨에 對한 各各의 雨量配分率間에는 同一 地點에서  $r=0.95^{**} \sim 0.96^{**}$ 의 高度의 相關關係가 있음을 보였으며 回歸係數  $b$ 의 값은  $0.90 \sim 1.05$ 로 1에 가까운 값을 보여주었다. 또한  $a$ 의 값도 大部分이  $\pm 10.0$ 사이 에 分布되어 있었다.

이러한 結果는 降雨의 持續時間이 暴雨의 雨量配分率에 影響을 미치는 因子가 되지 못함을 뜻한다.

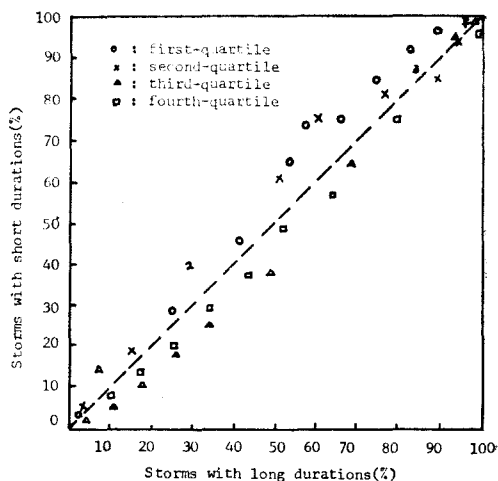


Fig. 5. Relation between cummulative percentiles of rainfall distribution for storms with short durations and with long durations

#### 5. 總降雨量과 持續時間의 頻度分布 및 相關關係

##### 1) 總降雨量의 頻度分布

42個 觀測點에서 蒐集한 1199個의 單一暴雨를 總降雨量別로 分類하여 頻度分布圖를 作成한 結果는 Fig.6과 같다.

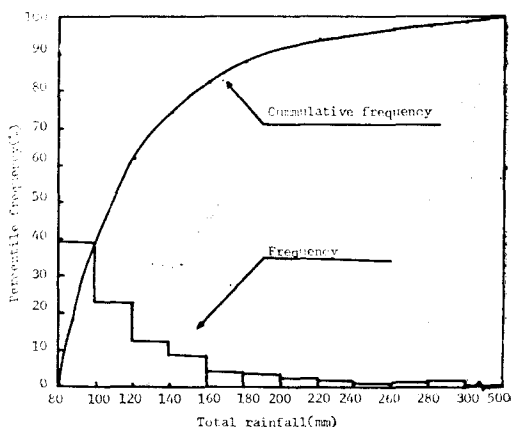


Fig. 6. Frequency distributions of total rainfalls for observed single storms in Korea

單一暴雨의 總降雨量은  $80 \sim 500$ mm사이 에 分布되어 있으며 總降雨量  $80 \sim 100$ mm 사이의 單一暴雨의

數는全體暴雨數의 39.0%로서 가장 많고 總降雨量이 20mm씩 增加함에 따라 單一暴雨의 相對頻度는 22.6%, 12.5%, 8.8%…… 등으로 減少하고 있다.

累加頻變 그래프를 살펴보면 累加頻度 50%에 相應하는 中央値는 108mm로서 分布의 型態가 總降雨量의 下限値 附近에 集中되어 있어 甚하게 歪曲되어 있는 分布形임을 알 수 있다. 이러한 現象은 資料의 標本抽出 自體가 80mm 以上の 暴雨단을 選拔하였다는 事實과, 一般의 으로 大部分의 水文現象이 測定單位時間이 짧아질수록 頻度分布의 歪曲度가 커진다는 事實<sup>49)</sup>에 비추어 불대 當然하다고 생각된다.

모든 分期型 暴雨들의 最頻値는 80~100mm 사이에 있었으며 前半期(第1 및 第2分期)型 暴雨들의 最頻値는 39~43%이고, 後半期(第3 및 第4分期)型은 36~38로서 前述(Ⅱ, 1.2)한 바와 같이 總降雨量이 크면 後半期型 暴雨의 出現頻度가 많아진다는 傾向과 一致하고 있다.

2) 持續時間의 頻度分布

全體單一暴雨들을 暴雨持續時間別로 分類하여 頻度分布圖를 作成한 結果는 Fig.7과 같다.

單一暴雨들의 持續時間은 70~5330分 사이에 分布되어 있다. 360分 間隔으로 頻度分布를 調査한 結果 最頻値는 720~1080分(12時間前後)로서 相對頻度는 29%이고 分布의 型態는 總降雨長의 境遇와 마찬가지로 오른쪽으로 歪曲된(right skewed) 分布型임을 알 수 있다.

累加分布曲線을 보면 50% 累加頻度에 對應하는 값인 中央値는 1026分임을 알 수 있다.

各 分期型別 暴雨들의 最頻値는 第1分期型이 360

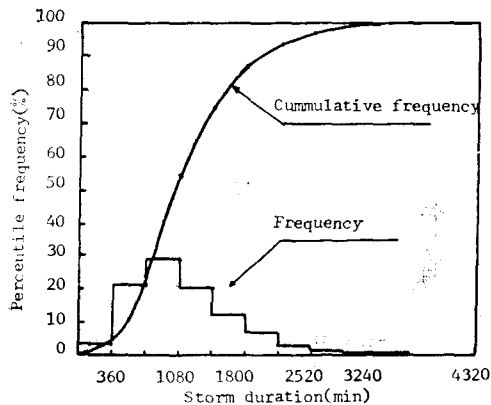


Fig. 7. Frequency distribution of storm duration for observed single storms in Korea

~720分, 그리고 第 2~3分期型은 720~1080分이며 이때의 相對頻度는 各各 24%, 28%, 32%, 32%로서 前半期型暴雨는 持續時間이 짧고 後半期型暴雨는 持續時間이 길어서(Ⅱ.1.3) 參照), 이미 考察하였던 結果와 一致하는 傾向을 보여주고 있다.

3) 總 降雨量과 持續時間과의 關係

各 地點別로 單一暴雨들의 總降雨量과 持續時間과의 關係를 調査하였다.

Fig.8은 서울地點에 對하여 總降雨量-持續時間關係를 나타낸 것으로서 相關係數는  $r=0.55^{**}$ 로 高度로 有意的인 相關關係가 認定된다. 即, 80mm 以上の 暴雨標本을 取하였음에도 持續時間이 길어지면 降雨量도 많아진다는 事實을 立證할 수 있었다.

Fig.9는 서울地點의 單一暴雨들을 分期別로 分類하여 各 分期別 暴雨의 總降雨量-持續時間關係를 나타낸 것이다. 分期別 暴雨 역시 正의 相關을 보이고 있음을 알 수 있다.

서울 以外的 地點들에 對한 全體單一暴雨 및 分期別 單一暴雨들에 對한 總降雨量과 持續期間과의 相關關係를 分析한 結果는 Table-5와 같다.

各 地點別로 單一暴雨들을 分期別로 區分하지 않고 總降雨量과 持續時間과의 關係를 相關分析한 結果는 保寧, 瑞山, 牙山, 原城, 裡里, 淸州等 單一暴雨의 數가 많지 않은 地點을 除外하고는 相關이 높음을 나타내고 있다. 即, 相關係數는 0.3~0.7程度. 正相關으로서 50% 以上の 有意的인 相關係數 값을 보이는 地點이 全地點의 85%, 그리고 相關係數가 0.7 以上の 有意的인 값을 보이는 地點이 全體의 10%에 達하고 있다.

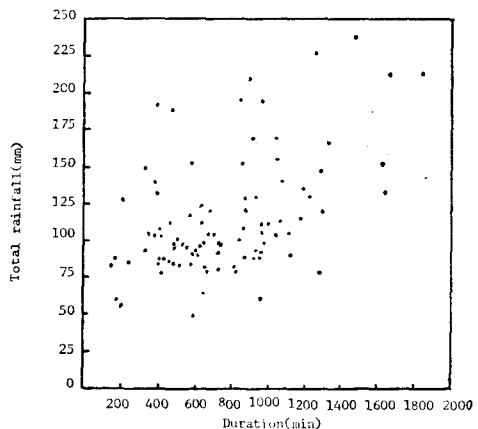


Fig. 8. Relation between total rainfall and storm duration at Seoul

暴雨의 時間的 分布에 關한 研究

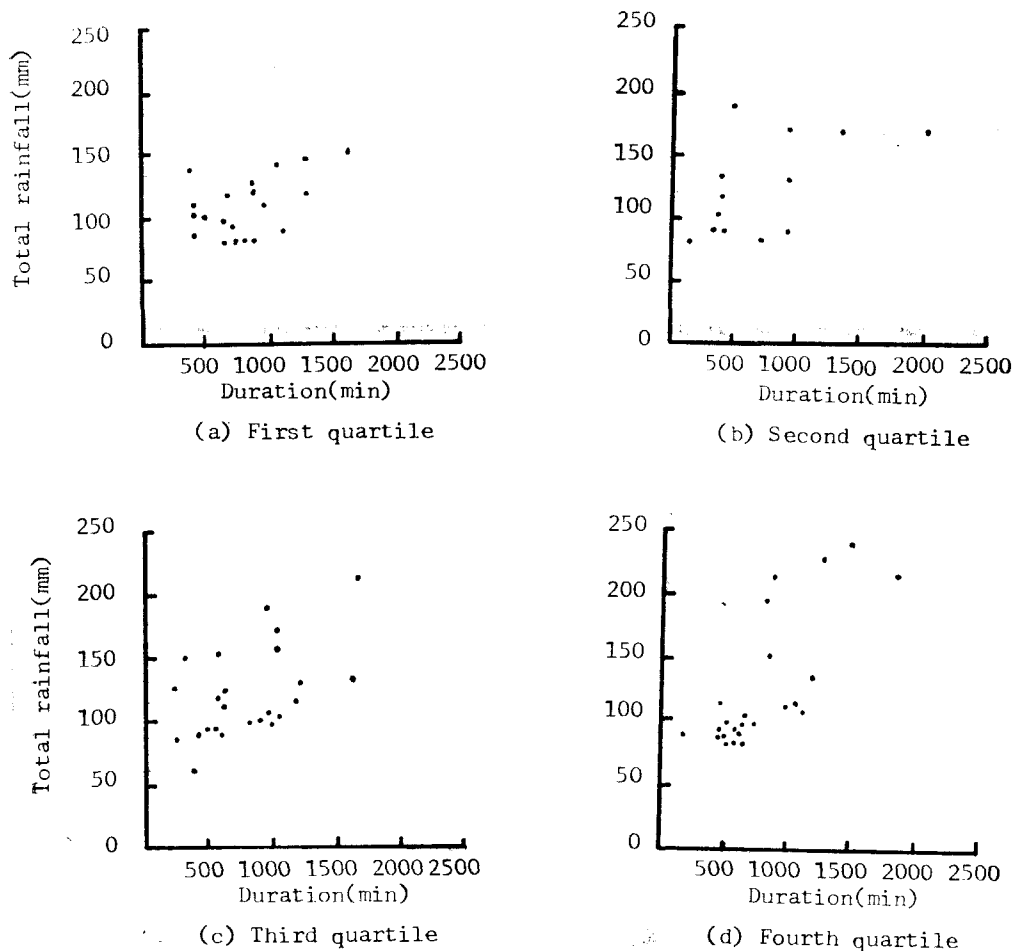


Fig. 9. Relation between total rainfall and storm duration of quartile storms at Seoul

Table-5. Correlation coefficients between total rainfall and storm duration at different stations

Serial No.	Station name	Correlation coefficients				
		All storms	1st Qt	2nd Qt	3rd Qt	4th Qt
14	Busan	0.52**	0.90*	0.33	0.50*	0.25
18	Seoul	0.55**	0.48*	0.47*	0.48*	0.73**
23	Yeosu	0.60**	0.43	0.84**	0.43	0.41
26	Ulsan	0.55**	0.82	0.51*	0.55*	0.40
30	Incheon	0.42*	0.31	0.33	0.34	-0.20
32	Jeonju	0.43**	0.26	0.66**	-0.50	0.39

分期別 暴雨의 境遇는 相關係數의 값이 負의 相關에서부터 正의 相關에 이르기까지 多樣하나 有意的인 값을 보이는 分期 또는 地點은 몇군데 되지 않는다. 이것은 어떤 地點의 全體 單一暴雨들을 分期別로 區分한 結果 標本數가 減少된데 基因된 것으로 思料된다. 그러나 正의 有意的인 相關을 나타낸 모든 地點들은 各 地點 單一暴雨들을 分期別로 分類하여도 總降雨量—持續期間 關係는 變함이 없음을 알 수 있다.

式 模型으로 單純化 시킨다.

$$DR = C_0 + \sum_{i=1}^n C_i x^i \dots \dots \dots (3)$$

$$x = \frac{T}{TD} \times 100$$

여기에서 T: 暴雨持續期間中의 任意經過時間(分)

TD: 總 暴雨持續時間(分)

x: 暴雨持續時間比(%)

DR: x에 相應하는 累加雨量 配分率(%)

C<sub>0</sub>, C<sub>i</sub>: 係數

여기에서는 發生確率 50%에 相應하는 雨量配分率에 對하여 (4)式과 같은 模型化를 地點別, 分期別로 試圖하기로 하였다. (4)式의 多項式 模型에서 i의 次數를 決定하여야 되는바 3次以下는 除外하기로 하였다. 그 理由로서는 標準概算誤差가 작

IV. 暴雨의 時間的 分布模型

1. 模型 作成

1) 累加雨量配分率의 多項式 模型

各 地點別 累加雨量 配分率을 (3)式과 같은 多項

Table-6. Coefficients of 3rd order polynomial regression model for estimating the time distribution of single storms

Station name	Quartile	Coefficients				t-value*			Standard error of estimate	F-value**
		C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>		
Busan	I	-23.73	2.66	-0.364 × 10 <sup>-1</sup>	0.217 × 10 <sup>-3</sup>	6.91	-4.54	4.49	2.59	365.24
	II	-0.510 × 10 <sup>-1</sup>	-0.102	0.371 × 10 <sup>-1</sup>	-0.264 × 10 <sup>-3</sup>	-0.329	5.73	-6.73	2.10	928.42
	III	9.99	-1.04	0.392 × 10 <sup>-1</sup>	-0.198 × 10 <sup>-3</sup>	-2.39	4.33	-3.61	2.94	456.83
	IV	-8.06	1.06	-0.127 × 10 <sup>-1</sup>	0.131 × 10 <sup>-3</sup>	2.67	-1.53	2.60	2.69	424.35
Seoul	I	-14.65	2.71	-0.303 × 10 <sup>-1</sup>	0.146 × 10 <sup>-3</sup>	9.54	-5.13	4.09	1.91	644.60
	II	1.43	-0.299	0.376 × 10 <sup>-1</sup>	-0.250 × 10 <sup>-3</sup>	-0.657	3.97	-4.37	3.07	428.34
	III	8.72	-0.690	0.338 × 10 <sup>-1</sup>	-0.177 × 10 <sup>-3</sup>	-1.47	3.44	-2.98	3.17	371.99
	IV	-5.98	0.781	-0.583 × 10 <sup>-2</sup>	0.847 × 10 <sup>-4</sup>	3.64	-1.30	3.13	1.45	1417.3
Yeosu	I	-10.82	2.23	-0.231 × 10 <sup>-1</sup>	0.120 × 10 <sup>-3</sup>	6.78	-3.38	2.91	2.21	506.05
	II	-4.76	0.419	0.238 × 10 <sup>-1</sup>	-0.180 × 10 <sup>-3</sup>	0.593	1.61	-2.02	4.77	161.98
	III	3.81	0.132 × 10 <sup>-1</sup>	0.192 × 10 <sup>-1</sup>	-0.961 × 10 <sup>-4</sup>	0.449 × 10 <sup>-1</sup>	3.13	-2.59	1.99	859.57
	IV	-3.87	0.764	-0.597 × 10 <sup>-2</sup>	0.867 × 10 <sup>-4</sup>	3.73	-1.40	3.36	1.38	1528.0
Ulsan	I	-11.95	2.47	-0.263 × 10 <sup>-1</sup>	0.131 × 10 <sup>-3</sup>	4.19	-2.14	1.76	3.98	161.83
	II	1.37	-0.349	0.376 × 10 <sup>-1</sup>	-0.246 × 10 <sup>-3</sup>	-0.936	4.85	-5.24	2.51	637.32
	III	6.44	-0.423	0.280 × 10 <sup>-1</sup>	-0.143 × 10 <sup>-3</sup>	-0.733	2.33	-1.96	3.89	243.88
	IV	0.699	0.215	-0.135 × 10 <sup>-2</sup>	0.961 × 10 <sup>-4</sup>	0.455	-0.318	1.62	3.18	342.58
Incheon	I	-7.90	2.00	-0.188 × 10 <sup>-1</sup>	0.973 × 10 <sup>-4</sup>	8.87	-4.01	3.43	1.52	1086.1
	II	-7.05	0.825	0.121 × 10 <sup>-1</sup>	0.991 × 10 <sup>-4</sup>	1.40	0.988	-1.33	3.98	218.32
	III	18.55	-1.45	0.503 × 10 <sup>-1</sup>	-0.276 × 10 <sup>-3</sup>	-1.56	2.58	-2.34	6.30	97.39
	IV	-5.33	0.172	0.329 × 10 <sup>-2</sup>	0.666 × 10 <sup>-4</sup>	4.86	-1.08	3.60	0.989	3141.4
Jeonju	I	-10.78	2.74	0.287 × 10 <sup>-1</sup>	0.124 × 10 <sup>-3</sup>	8.98	-4.52	3.23	2.06	540.71
	II	-0.798	0.466 × 10 <sup>-1</sup>	0.301 × 10 <sup>-1</sup>	-0.208 × 10 <sup>-3</sup>	0.780 × 10 <sup>-1</sup>	2.43	-2.77	4.02	236.10
	III	15.13	-0.945	0.430 × 10 <sup>-1</sup>	-2.250 × 10 <sup>-3</sup>	-1.88	4.10	-3.94	3.39	321.56
	IV	-4.65	0.892	-0.457 × 10 <sup>-2</sup>	0.597 × 10 <sup>-4</sup>	8.15	-2.00	4.33	0.783	5221.2

\* for v=5, t<sub>.99</sub>=3.36, t<sub>.95</sub>=2.02, \*\* for n=3, m=6, F<sub>.99</sub>=27.9, F<sub>.95</sub>=8.94

暴雨의 時間的 分布에 關한 研究

고 模型의 各 係數들이 95% 有意水準에서 許容되면서 模型 自體가 可及의 單純하여야 되겠다는 點等을 勘案하였기 때문이고 資料值들을 플롯트한 結果 大部分의 曲線들이 3次曲線의 特性들을 보여 주었기 때문이다.

따라서 本 研究의 경우 多項式 模型은 (4)식과 같다.

$$DR(x) = C_0 + C_1x + C_2x^2 + C_3x^3 \dots \dots \dots (4)$$

(4)식의 係數  $C_0, C_1, C_2, C_3$ 의 값들을 求하기 爲하여 回歸分析한 結果中 몇個 地點에 對한 것을 例示하면 Table-6과 같다.

Table-6의 結果들을 보면 多項式 模型의 各 係數들에 對한  $t$ -檢定 結果가 大部分 1% 水準의 有意性이 認定되었고 또한 模型의 推算能力(또는 신뢰 한계)을 意味하는 標準概算誤差도 各 地點의 分期別 模型이 大部分 5.0 以下의 작은 값을 나타내고 있다. 이러한 結果로 보아 各 地點 暴雨의 時間的 分布를 推定하는데 있어서 多項式 模型을 適用할 수 있다고 思料된다.

**2) 標準雨量柱狀圖의 作成**

各 地點別, 分期型別 標準 雨量柱狀圖는 (4)식을 利用하므로서 任意의 單位 時間  $t$ 와 暴雨持續時間  $TD$ 에 對하여 作成이 可能하며 그 節次는 다음과 같다.

(1) 持續時間軸의 區間數 決定

$$N = \frac{TD}{t} \dots \dots \dots (5)$$

여기에서  $N$ : 持續時間軸의 區間數

$t$ : 單位時間(分)

(2) 暴雨持續時間比 決定

$$x(i) = \frac{t \times i}{TD} \times 100 (i=1, 2, 3 \dots, N) \dots \dots (6)$$

여기에서  $x(i)$ :  $i$ 番재 區間까지의 經過時間에 對한 暴雨持續時間比(%)

(3) 累加雨量 配分率 決定

$$DR(i) = C_0 + C_1x(i) + C_2x(i)^2 + C_3x(i)^3 \dots \dots \dots (7)$$

여기에서  $i$ : 持續時間軸의 區間 順位

$DR(i)$ :  $i$ 番재 區間의 雨量配分率(%)

(4) 雨量柱狀圖의 縱距 決定

$$HR(i) = DR(i) - DR(i-1) \dots \dots \dots (8)$$

$HR(i)$ :  $i$ 番재 區間의 縱距值

**2. 模型 檢定**

累加雨量配分率에 對한 多項式 模型 또는 標準雨量柱狀圖가 實際의 暴雨와 어느 程度로 잘 符合되는지의 與否는 여러가지 檢定方法이 있으나, 여기에서는 相對誤差에 의해서 檢定한다.

이에 對한 標準例로서 釜山, 서울, 麗水, 蔚山, 仁川, 全州等 6個地點의 結果는 Table-7과 같다.

一般의 標準例示 地點 共히 相對誤差의 값이 별로 크지 않음을 Table-7에서 알수 있다. 即, 理論值 個個에 對한 平均 個別 相對誤差는 最大가 蔚山의 第1分期에서 0.12로서 나머지는 모두 그 以下의 값을 나타내 주고 있다. 여기에서 個別 相對誤差라 함은 觀測值와 推定值의 差를 推定值로 나누어 제공한 값을 時間軸의 階級區間數로 나눈 값이다.

分期別로는 第1分期 및 第4分期의 各 地點 平均 個別 相對誤差가 各各 0.07, 0.06이고 第2 및 第3分期型은 0.05 및 0.03으로서 그 크기의 順序는 分期型別 暴雨의 出現頻度와 逆順으로 나타났다 即, 暴雨 出現頻度가 많은 分期의 個別 相對誤差가 작고 出現頻度가 작은 分期는 相對的으로 큰 誤

**Table-7. Results of the time distribution model test by relative error method**

Station name	Accumulated relative errors; $\sum \left( \frac{T-O}{T} \right)^2$				Individual relative errors; $\sum \left( \frac{T-O}{T} \right)^2 / N$			
	I st quartile	II nd quartile	III rd quartile	IV th quartile	I st quartile	II nd quartile	III rd quartile	IV th quartile
Busan	9.6	11.0	15.3	13.8	0.10	0.04	0.04	0.05
Seoul	14.5	2.0	7.5	11.3	0.05	0.01	0.02	0.03
Ulsan	8.0	17.0	12.8	7.8	0.12	0.11	0.05	0.07
Yeosu	15.3	3.3	4.3	7.6	0.07	0.03	0.02	0.04
Incheon	9.7	17.1	7.1	8.8	0.05	0.10	0.04	0.09
Jeonju	6.2	3.4	2.7	6.7	0.03	0.02	0.01	0.05
Average	12.9	9.0	8.3	9.3	0.07	0.05	0.03	0.06

차를 보여 주고 있다.

結局, 3次 多項式에 依한 暴雨의 時間的 分布 模型은 全體的으로 個別 相對誤差 0.10 以內의 水準에서 雨量配分率을 推定할 수 있다고 말 할수 있겠다.

## V. 結論 및 摘要

韓國에 있어서 暴雨의 時間的 分布를 究明하고 暴雨波型의 模型을 作成하기 위하여 遂行한 本 研究은 降雨記錄中 前, 後 6時間 以上의 休止期間을 갖는 連續降雨로서 總降雨量이 80mm 以上의 것만을 選拔하여 이를 單一暴雨라 稱하고 分析하였던 바 總單一暴雨의 數는 1199個이었다. 4分期 分類法에 依하여 暴雨의 波型을 分類하고 各 波型別로 時間에 따른 雨量配分率을 百分比의 形態로 算出하였으며 各種의 分析 過程을 거쳐 暴雨의 時間的 分布模型을 作成하였다.

以上에서 얻어진 結果들을 要約하면 다음과 같다.

1. 우리나라의 單一暴雨에 있어서 分期型別 暴雨波型의 百分率 出現頻度는 第1分期型이 22.0%, 第2分期型이 26.5%, 第3分期型이 28.9%, 그리고 第4分期型이 22.6%이었다. 各 地點別 同一分期型의 出現頻度는 變異가 매우 컸으나 西海岸地域은 後半期型의 暴雨가 優勢하였다.

2. 總降雨量이 큰 暴雨들은 總降雨量이 작은 暴雨들에 比하여 後半期型의 暴雨 出現頻도가 많아지는 傾向을 보였다.

3. 持續期間이 긴 暴雨들은 持續期間이 짧은 暴雨들에 比하여 後半期型의 暴雨 出現頻도가 많아지는 傾向을 보였다.

4. 全國 42個 雨量觀測 地點에 對한 雨量配分率을 暴雨型別로 計算한 바 一般的으로 各 地點의 雨量配分率間에는 相當한 變異를 보였다.

5. 總降雨量의 大小에 따른 雨量配分率間에는 大體的으로 有意的인 差異를 보이지 않았다. 이러한 結果로 보아 總降雨量의 大小는 暴雨의 雨量配分率에 影響을 미치지 못하였음이 밝혀졌다.

6. 持續時間의 長短에 따른 雨量配分率間에도 역시 有意的인 差異를 보이지 않았다. 故로 持續時間의 長短 역시 總降雨量의 境遇와 마찬가지로 雨量配分率에 影響을 미치지 못하였다.

7. 우리나라 全體 單一暴雨의 39.0%는 그 總降

雨量이 80~100mm사이에 分布되어 있어 가장 많은 比率로 發生한다. 42個 地點의 單一暴雨別 總降雨量의 中央値는 108mm이고 總降雨量의 頻度分布 型狀은 오른쪽으로 甚하게 歪曲된 形態이다. 各 分期別 暴雨들의 分布도 全體暴雨의 分布形態와 別로 差異가 나지 않았다. 다만 前半期型 暴雨들의 最頻値는 80~100mm로서 發生頻度는 39~43%이고 後半期型은 역시 80~100mm에 36~38%의 發生 頻度를 보였다.

8. 우리나라 全體 單一暴雨의 29%는 持續時間이 720~1080分 사사이에 分布되어 있고 또한 가장 많은 比率로 發生한다. 42個 地點의 單一暴雨別 持續時間의 平均은 1026分이고 頻度分布 型狀은 오른쪽으로 甚하게 歪曲된 形態이다. 各 分期別로는 前半期型 暴雨는 持續期間이 짧은 暴雨의 發生頻도가 높고 後半期型 暴雨는 持續期間이 긴 暴雨의 發生頻도가 높았다.

9. 單一暴雨의 總降雨量과 持續時間間에는 全地點이 正의 相關이 認定되었고 分期型別 單一暴雨 역시 各 地點別로 大部分 正의 相關을 나타내었다.

10. 各 地點別 暴雨의 雨量配分率을 推定하기 爲한 3次 多項式 模型을 作成하였으며, 模型의 適合性을 檢定하기 爲하여 推定値와 觀測值間의 相對誤差를 計算한 結果 0.01~0.12로서 推定値가 觀測值에 接近됨이 確認되었다.

以上の 結果 以外에도 burst의 集中的인 分析, 無計測 流域에의 適用을 爲한 地點模型의 地域模型化, 流出模型과의 連繫等의 事項이 繼續 研究, 檢討 되어야 할 것으로 思料된다.

## 謝 辭

本 研究을 遂行함과 筆者의 오늘이 있기까지 學問的 能力을 키워 주시고 모든 면에서 指導와 鞭撻을 아끼지 않으신 恩師 朴成宇 博士께 깊은 感謝를 드립니다.

그리고 本 論文의 體制와 內容을 綿密히 다듬어 發表가 可能하게 하여주신 서울大學校 高在君 博士 權純國 博士, 慶北大學校 徐承德 博士, 忠北大學校 李淳赫 博士께 甚深한 感謝를 드립니다.

또한 慶尙大學校 電算室 및 農工學科의 여러 教授 그리고 大學院 學生들과도 이 成果의 즐거움을 같이 하고져 합니다.

參 考 文 獻

1. Allen, D.M. and C.T.Haan, 1975, Stochastic simulation of daily rainfall, Report 82, WRR1, Univ. of Kentucky.
2. Bras, R.L. and I. Rodriguez-Iturbe, 1976, Rainfall generation: A non-stationary time-varying multidimensional model, WRR 12 (3) : 450-456
3. Chow, V.T., 1964, Handbook of Applied Hydrology, Mc Graw-Hill, N.Y.
4. Dawdy, D.R. and J.M. Bergman, 1969, Effect of rainfall variability on stream flow simulation, WRR 5(5) : 958-966
5. Eagleson, P.S., 1978, Dynamic Hydrology, McGraw-Hill Book Co.; 194-195
6. Feyerman, A.M. and L.D.Bark, 1965, Statistical methods persistent precipitation patterns, J.Appl. Meteor. 4 : 320-328
7. Forgel, M.M., 1969, Effect of storm rainfall variability on runoff from small semiarid watersheds, Trans. ASAE 12(6) : 808-812
8. Grunow, J., 1961 Investigations on the structure of precipitation, Deutscher wetterdienst Hohenpeissenberg, Oberbyern : 109
9. Hann, C.T., etal, 1982, Hydrologic Modeling of small watersheds, A.S.A. E. : 81-118
10. Hall, A.J., 1977, Temporal Patterns of Rainfall Burst; Australian Rain-fall and Run-off, The Institutions of Engineers, Australia : 59-63
11. Hall, A.J. and T.H. Kneen, 1973, Design Temporal Patterns of Storm Rainfall in Australia, Proc. Hydrology Symp., I.E.Aust.
12. Huff, F.A., 1967, Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms, WRR 3(4) : 1007-1019
13. Huff, F.A., 1968, Spatial Distribution of Heavy Storm Rainfalls in Ill-inois, WRR 4(1) : 47-54
14. Huff, F.A., 1969, Climatological assessment of natural precipitation characteristics for use in weather modification, J. Appl. Meteorol. 8(3) : 401-410
15. Huff, F.A., 1970, Spatial distribution of rainfall rates, WRR 6(1) : 254-260
16. Huff, F.A., 1970, Time distribution characteristics of rainfall rates, WRR 6(2) : 447-454
17. Huff, F.A. and J.C. Neil, 1957, Frequency of point and areal mean rain-fall rates, Trans. Am. Geophys. Union 37(6) : 679-681
18. Huff, F.A. and J.C., Neil, 1957, Rainfall relations on small areas in Illinois, Ill. State Water Survey Bull. 44 : 61
19. Huff, F.A. and J.C. Neil 1959, Frequency relations for storm rainfall in Illinois, Ill. State Water Survey Bull. 46 : 65
20. Huff, F.A. and R.G. Semonin, 1960, An investigation of flood producing storms in Illinois, Topics Eng. Meteorol. Mono. 4, Amr. Meteorol. Soc., Boston, Mass.
21. Huff, F.A. and S.A. Changnon, Jr., 1966, Development and utilization of Illinois precipitation networks, Publ. No 67, Intern. Assoc. Sci. Hydrol., Symposium on Design of Hydrological Networks.
22. Huff, F.A. and W.L. Shipp, 1968, Rainfall variability relations on small areas, Trans. Ill. Acad. of Sci. 61(2) : 157-164
23. Huff, F.A. and W.L. Shipp, 1969, Spacial distribution characteristics of rainfall rates in Illinois, Trans. Ill. Acad. of Sci. 62 : 57-62
24. Huff, F.A. and W.L. Shipp, 1969, Spatial correlations of storm, monthly and seasonal precipitations, J. Appl. Meteorol. 8(4) : 542-550
25. 石黒政儀, 1968, ハイエットグラフとその特性に關する研究, 土木學會 論文集 : 115
26. 石原安雄, 友杉邦雄, 1975, 降雨の時間配分に關する確率論的考察, 京大防災年報 14(B) : 87-102
27. 金子良, 1978, 農業水文學, 水文學講座 12, 共立出版(株), 東京 : 40
28. Keifer, C.T. and H.H.Chu, 1957, Synthetic storm pattern for drainage design, Proc.

- A.S.C.E. HY4.
29. Kerr, R.L., etal, 1970, Analysis of rainfall-duration-frequency for Pennsylvania State Univ., Res. Pub. 70 : 152., Aug.
  30. 李淳赫, 1977, 韓國 主要水系의 小流域에 對한 瞬間單位圖 誘導에 關한 研究(I), 韓國農工學會誌 19(1) : 4296
  31. 李殷鎔, 姜瑄沅, 1982, 確定論的 模擬技法에 依한 都市流出解析에 關한 研究, 韓國水文學會誌 15(3) : 37-47
  32. 李根厚, 1981, 晉州地方 地點降雨의 時間的 分布에 關한 研究, 慶尙大 論文集 20(自然) : 487-494
  33. 室田明, 端野道夫, 1970, 台風性降雨のシミュレーションにうる 研究, 土木學會 年次 學術講演會 講演集
  34. 成瀨禮, 禮山晴久, 1963, 自記雨量計による降雨の觀測, 天氣 10 : 238-241
  35. Nash, J.E., 1958, Determining runoff from rainfall, Proc. Inst. Civ. Eng. 10 : 163-185
  36. Nick, A.D., 1974, Stochastic generation of the occurrence, pattern, and location of maximum amount of daily rainfall, USDA Misc. Publ. 1275 : 154-171
  37. Obsorn, H.B., and L.J. Lane, 1969, Precipitation-runoff relationship for very small semiarid range land watersheds WRR 5(2) : 419-429
  38. 朴贊寧外 3人, 1981, 小流域의 設計流量 算定을 爲한 降雨形狀分析에 關한 研究, 韓國水文學會誌 14(4) 13-18
  39. 朴成宇, 1964, 韓國에 있어서 諸水文構造物의 設計基準을 주기 爲한 水文學的 研究, 農工學會誌 1(1) : 49-69
  40. 朴成宇, 1979, 韓國의 降雨分析 結果 및 等雨曲線과 그 利用, 農振公 研究報告書
  41. Pilgrim, D.H., etal, 1969, Temporal Pattern of Design Rainfall for Sydney, Civ. Eng. Trans., I.E. Aust. CE11(1)
  42. 徐承德, 1965, 暴雨의 時間的 分布에 關한 考察 韓國農工學會誌 7(2) : 792-797
  43. 徐炳夏, 姜瑄沅, 尹龍男, 1981, 都市下水道網의 水文學的인 評價와 設計確率流量의 漸大化 性向에 關한 研究(第1報), 韓國水文學會誌 14(4) : 27-33
  44. 田中雄作, 1972, 治水計劃 における 降雨波形的處理について, 土木學會論文報告集 204 : 39-49
  45. U.S.B.R., 1965, Design of small dams : 28-32
  46. SCSHandbook, 1964, Revised 1972, National Engineering Hand Book, Section 4, Hydrology.
  47. Viessman, W., Jr. 1977, Introduction to Hydrology, IEP A Dun-Donnelley Publisher N.Y. : 592-614
  48. Wei, T.C. and C.C.Larson, 1971, Effects of areal and time distribution of rainfall on small watershed runoff hydrographs, Bull. 30, Water Res. Ctr., Univ. of Minn. March.
  49. Yevjevich, V., 1972, Probability and Statistics in Hydrology : 214-231