

〈論文〉

流域特性으로부터 確率洪水量的 유도에 관한 研究

—The Derivation of the Frequency Formulae from the Basin Characteristics—

梁 東 律*

Yang, Tong-Yool

高 在 雄**

Ko, Jae-Ung

—ABSTRACT—

The purpose of this paper is to provide a method of estimating the magnitude and frequency of floods on five major streams in Korea such as the Han, the Nakdong, the Geum, the Seomjin and the Yeongsan.

Derivation of the flood frequency formulae is based on the multiple correlation method. For each gaging station in the region, flood frequency curves are drawn by Gumbel-Chow and Weibull plot. where 24 gaging stations are selected for this study. After the station flood-frequency curves have been prepared, discharges are read at selected recurrence intervals.

Each set of discharges is then correlated with basin parameters, using regression equation. The basin parameters that are considered include drainage area, length of main stream, shape factor, mean basin slope and main channel slope.

要 旨

本 研究에서는 水文觀測資料가 없는 地點에서도 確率洪水量을 求할 수 있는 確率洪水量의 算定公式을 誘導하였다.

研究 對象流域으로는 韓國의 主要河川인 漢江, 錦江, 榮山江, 蟾津江, 洛東江을 擇하였고, 分析 地點으로는 5大江 流域의 24個 水文觀測所를 選定하여 여기서 얻은 洪水量資料를 Weibull-Plot와 Gumbel-Chow 方法에 依한 分析을 通하여 T年 確率洪水量을 求하고 流域面積, 流路長, 流域形狀 係數, 流域平均傾斜, 河川傾斜를 確率洪水量에 影響을 미치는 地形因子로 하여, 이들 確率洪水量과 地形因子와의 相關關係를 分析하여 確率洪水量 公式을 誘導하였다.

Gumbel-Chow 方法에 依한 確率洪水量과 地形因子의 相關關係 分析結果, 流域面積 A의 相關이 너무 높게 나타나 위 方法에 따라 求한 確率洪水量 公式은 實用性이 없는 것으로 判斷되었으며, Weibull-Plot에 依한 確率洪水量과 地形因子와의 相關關係 分析結果에 依하여 再起年에 따른 確率 洪水量公式을 유도하였다.

*朝大附設工業專門大 助教授

**建國大學校 副教授

I. 序 論

確率洪水量을 算定하는 式을 誘導하는데 影響을 미치는 水文學的 要素는 氣象學的 要因 및 地形學的 要因 等 그 範圍가 龍大하다. 그러나 우리 日常生活과 깊은 關係이 있는 治水와 利水를 위한 河川流域의 綜合開發計劃에 있어서 確率洪水量의 算定은 基本的인 것이다.

確率洪水量의 算定方法은 너무나 많고 方法別로 그 特性이 달라 어느 것이 가장 合理的이다 또는 어느 方法이 가장 效率的이다라고 말할 수가 없다. 그 理由는 洪水에 影響을 미치는 降雨, (降雨強度, 降雨量)繼續時間 等の 氣象學的 要因이나 流域面積, 流路長, 流域의 形態 等 地形學的 要因이 流域別로 모두 다른 特性을 갖고 있기 때문이다. 따라서 頂點洪水量에 影響을 주는 여러가지 要因들의 密接한 關係에 對한 變數, 各個 集團의 效率的인 要因과 그 相關關係에 對한 洪水頻度分析은 보다 合理的이고 正確한 解析에 依한 廣範圍하고 綜合的인 地域頻度分析이 이루어져 相互 均衡된 確率洪水量이 算定되어야 한다.

또한 選定 研究對象地域은 地形 및 氣候와 같은 頂點洪水量에 影響을 미치는 正確한 基礎資料가 있는 곳이어야 하며 어느 江, 또는 地點에서의 洪水狀況은 그 位置에서만 일어나는 特殊한 問題가 있어 一般的인 公式이 어떠한 境遇에나 萬能的으로 適用될 수 없다는 點을 考慮하여야 한다.

確率洪水量을 算定하는 데는 降雨量資料로부터의 誘

導와 洪水量資料로부터의 誘導를 생각할 수 있으나 本 研究에서는 우리나라 主要 河川인 漢江, 錦江, 榮山江, 蟾津江, 洛東江의 五大 河川流域에 位置하는 24個 水文觀測所를 選定하여 여기에서 얻은 洪水量資料를 Weibull-plot와 Gumbel-Chow 方法에 依해 分析하여 T年洪水量을 求하고 여기에서 求한 T年洪水量과 地域特性에 따라 確率洪水量을 算定하는 公式을 誘導하였다.

本 研究의 目的은 各 主要河川의 地點別 確率洪水量의 概略的인 規模를 提示하여 水工構造物의 計劃設計에 基準으로 採擇되게 하고, 記錄이 없는 地點에서도 確率洪水量을 算定할 수 있도록 하는데 있다.

II. 分析에 使用된 資料와 分析方法

2-1. 分析地點의 選定

分析對象河川으로는 地域의 比重을 차지하고 있는 漢江, 錦江, 榮山江, 蟾津江, 洛東江을 選定하였다. 이들 河川은 西南海로 流入하는 國內 大河川으로서 全國土에 對한 面積比率이 約 69%에 이르며, 人口集中率, 耕地面積의 分布, 既存 產業構造의 現況 等を 考慮할 때 그 影響力이 매우 크다.

分析地點은 同一豪雨에 對한 洪水頻度 分析을 合理的이고 效果的으로 할 수 있도록 水文資料가 比較的인 오랜 期間 具備되어 있는 水文觀測所 地點과 一致시켜 5大河川의 流域에서 24個 地點을 選定하였으며 流域別 24個 地點의 現況은 表 2-1과 같다.

表 2-1 地域別 24個地點 現況

順 位	地 點	河 川 名	流域面積(km ²)	資 料 期 間	觀 測 開 始
1	春 川	北 漢 江	7884.7	1915~1934	1914. 10
2	清 平	北 漢 江	10322.3	1917~1974	1914. 11
3	丹 陽	漢 江 本 流	5519.1	1952~1974	1917. 6
4	忠 州	漢 江 本 流	6657.3	1918~1974	1917. 6
5	驪 州	漢 江 本 流	11063.0	1917~1974	1913. 3
6	高 安	漢 江 本 流	23613.0	1917~1974	1914. 11
7	人 道 橋	漢 江 本 流	24753.2	1918~1974	1918. 8
8	石 花	美 湖 川	1590.4	1955~1974	1918. 8
9	龍 潭	錦 江 本 流	936.8	1963~1974	1962. 7
10	沃 川	錦 江 本 流	2942.6	1954~1974	1916. 1
11	公 州	錦 江 本 流	7125.8	1954~1974	1915. 4
12	窺 岩	錦 江 本 流	8273.2	1954~1974	1915. 6
13	仙 岩	黃 龍 江	551.4	1917~1974	1917. 9
14	南 平	砥 石 川	582.3	1953~1974	1919. 4
15	馬 勒	榮 山 江 本 流	684.0	1956~1974	1912. 9

16	羅州	榮山江本流	2058.7	1917~1974	1915.9
17	鴨綠	蟾津江本流	2447.5	1957~1974	1917.5
18	松亭	蟾津江本流	4225.7	1917~1974	1917.5
19	東村	琴湖江	1544.0	1923~1974	1923.6
20	安東	洛東江本流	3590.4	1917~1974	1917.7
21	洛東	洛東江本流	9369.0	1917~1974	1915.8
22	倭館	洛東江本流	11074.4	1916~1974	1915.8
23	玄風	洛東江本流	14000.1	1918~1974	1917.6
24	津洞	洛東江本流	20311.0	1921~1974	1921.8

2-2. 年最大洪水流量

年最大値系列에 對한 頻度分析을 하기 위하여 24個 分析地點에 對한 年最大頂點洪水量的 資料를 整理하였으며, 資料의 精度가 研究結果에 미치는 至大한 影響을 考慮하여 資料의 精選에 努力하였다. 이를 위해 韓國水文調查書 水位編의 年最高洪水水位와 同附圖編의 洪水水位圖, 韓國水文調查年報 및 韓國의 洪水 등에서 얻

은 資料를 서로 比較 檢討하였으므로 分析地點別로 1個 以上の 水位-流量曲線을 마련하였다. 그러나 大概 高水部에 對한 流量의 實測記錄이 없어서 그 補完策으로 曲線의 延長에 依한 調整이나 地點附近의 既往水資源 計劃의 計劃洪水流量을 參照하여 年最大洪水流量을 表 2-2와 같이 作成하였다.

表 2-2 地點別 年最大 洪水流量(m³/sec)

水系	地點	期間最大 洪水量	期間最小 洪水量	期間平均
漢江	春川	13,300	2,570	6,560
	清平	19,000	2,700	7,660
	丹湯	10,000	1,600	4,217
	忠州	14,000	600	3,990
	驪州	16,000	1,500	5,935
	高安 人道橋	30,000 30,000	5,800 4,200	13,540 13,090
錦江	石花潭	3,250	720	1,640
	龍潭	1,850	550	1,070
	沃川	5,110	770	2,410
	公州 窺岩	5,180 10,000	1,010 900	3,160 4,630
榮山江	仙岩	1,800	100	659
	南平	2,600	300	1,096
	馬勒	1,200	110	599
	羅州	5,390	340	2,562
蟾津江	鴨綠	7,060	1,000	3,274
	松亭	7,120	1,500	4,824
洛東江	東村	3,470	250	1,453
	安東	4,800	940	2,577
	洛東	5,100	1,300	3,182
	倭館	6,420	1,700	3,626
	玄風	11,000	1,900	5,434
	津洞	14,000	3,700	7,705

2-3. 流域의 地形因子

洪水流出에 影響을 미치는 地形學的 特徵은 流域의 크기, 流域의 傾斜, 河川의 傾斜, 流路의 길이, 流域의 平均幅, 流域의 形態 等, 固定的인 特徵과 被覆의 種類 및 耕作狀態 等의 可變의 特徵이 있으며, 우선 最大洪水에 影響을 미치는 要因들의 構成要素에 對한 分析評價에 따라 最小限의 關聯性이 있는 要因을 골라야 한다.

本 研究에서는 流域面積, 流路長, 流域의 平均傾斜, 河川의 傾斜, 流域의 形狀係數를 地形因子의 5要素로 選定하였다.

1. 流域面積(A : km²)

地點別 流域面積은 選定된 水位觀測所地點과 一致된 24個 分析地點에 對한 流域面積의 크기를 km² 單位로 하여 A로 나타냈다.

2. 河川長(L : km)

24個 分析地點에서 幹線河川으로 認定된 流路長을 1:50000 地圖上에서 Curve-meter로 10回 測定하여 그 算術平均値를 地點流域에 對한 流路長으로 하였으며 km 單位로 하여 L로 나타냈다.

3. 流域의 平均傾斜(J : rad.)

流域의 平均傾斜는 雨水의 浸透, 流出率 및 地表流 過速度를 左右하는 重要한 要素로서 等高線延長法(Contour-Length method), 等高線面積法(Contour-Area method), 交線法(Intersction-Line method) 등이 있으나 本 研究에서는 交線法인 Horton의 方法으로 1:50000 地圖를 利用하여 流域의 平均傾斜를 求하여 rad 單位로 하여 J로 나타냈다.

$$J = \frac{\pi}{2} \frac{\Delta h \cdot N}{\Sigma l} \dots\dots\dots(2-1)$$

여기서

J: 流域의 平均傾斜(rad)

Δh : 等高線間의 標高差

Σl : 等高線에 依해 分斷된 方眼線의 總길이

N: 等高線과 方眼線과의 交點 總數

단 1:50000 地圖上에서 方眼線의 間隔은 2cm, 利用한 等高線은 計曲線으로서 等高線間의 標高差는 100 m이었다.

4. 河川의 傾斜(S)

河川의 傾斜는 流路의 性質, 流況等, 河川의 性格에 關係되는 要素이며, 河川의 傾斜를 求하는 때는

1) 가장 긴 流路의 上流에서 觀測地點까지의 距離와 總落差를 使用하는 方法.

2) 本流의 3/4 地域에 對한 資料만을 利用하는 方法.

3) 全流域面積의 10% 以上의 面積을 차지하는 支流의 傾斜와 幹線河川의 傾斜를 組合하는 方法.

4) 本流의 傾斜와 全支流의 傾斜를 組合하는 方法

5) 幹線河川을 擇하여 下流 70%는 7等分하고 上流 30%는 6等分하여 그 各各의 傾斜를 組合하는 方法.

6) 幹線河川의 下流로부터 "10~85%" 範圍까지의 距離와 그 標高差를 利用하는 方法 등이 있다. Benson²⁾에 依하면 "85~10%" 傾斜法을 使用하여 얻은 結果들은 實際의 으로 基本圖解分析에서 主要河川의 傾斜를 使用하여 얻어진 結果와 同等하며, 이를 利用하는 것이 計算에 簡便하므로 이를 使用함이 바람직하다고 하였다. 本 研究에서는 이를 따라 위 6)의 方法을 利用하여 河川의 平均傾斜를 求하여 S로 表示하였다.

5. 流域의 形狀係數(F)

洪水의 大小, 洪水繼續時間 等은 流域의 形狀과 支流의 配置狀態 等에 따라 많이 달라진다. 本 研究에서는 流域의 形狀만을 考慮키로 하고 流域의 形狀係數를 Horton의 方法에 依하여 求하였다.

$$F = \frac{A}{L^2} \dots\dots\dots(2-2)$$

여기서

F: Horton의 流域形狀係數

A: 流域의 面積(km²)

L: 本流의 流路長(km)

最大流出量에 影響을 미치는 因子들은 그 外에도 河川의 密度, 流域의 平均高度, 流域의 地質, 流域의 被覆狀態, 土地의 使用度, 都市化, 貯水面積, 山岳要因 等 많이 있으나 資料의 蒐集과 整理의 未盡 等, 障得

要因이 많아서 本 研究에서는 省略하였다.

分析地點別 5가지 地形因子는 表 2-3과 같다.

表 2-3 分析地點別 地形因子

水 系	地 點	流域面積 A(km ²)	流路長 L (km)	流域平 均傾斜 J(rad)	河川傾 斜 S (10 ⁻³)	形 狀 係 數 F
漢 江	春 川	7884.7	157.6	0.999	1.37	0.32
	清 平	10322.3	201.4	0.987	1.27	0.25
	丹 陽	5519.1	227.5	1.225	2.34	0.11
	忠 州	6657.3	284.0	1.164	2.04	0.08
	隴 州	11036.0	339.5	1.105	1.64	0.10
	高 安 人道橋	23613.0 24753.2	390.0 428.5	1.068 1.059	1.36 1.24	0.10 0.13
錦 江	石 花	1590.4	66.0	1.638	0.97	0.37
	龍 潭	936.8	58.7	0.725	4.65	0.27
	沃 川	2942.6	200.5	1.035	1.25	0.07
	公 州	7125.8	306.2	1.378	0.91	0.07
	竇 岩	8273.2	339.8	1.327	0.80	0.07
榮山江	仙 岩	551.4	54.5	0.603	2.81	0.19
	南 平	582.3	45.2	0.613	2.36	0.29
	馬 勒	684.0	53.2	0.584	2.88	0.24
	羅 州	2058.7	71.2	0.593	2.24	0.41
蟾津江	鴨 綠	2447.5	152.4	0.528	2.18	0.11
	松 亭	4255.7	176.5	0.546	1.58	0.14
洛東江	東 村	1544.0	89.0	0.550	2.81	0.19
	安 東	3590.4	171.0	0.686	4.21	0.12
	洛 東	9369.0	267.2	0.606	2.40	0.13
	倭 館	11074.4	315.8	0.592	1.49	0.11
	玄 風	14000.9	369.8	0.580	1.09	0.10
	津 洞	20311.0	425.8	0.586	0.92	0.11

2-4. 分析方法的 選定

各種 水文資料值 系列을 理論的 確率分布型에 따라 그 資料가 代表하는 水文事象의 生起頻度を 解析하는 方法은 確率紙에 回歸分析으로 plot하는 plotting technique와 頻度係數法(method of frequency factor)으로 大別할 수 있으며 plotting 手法으로는 Hazen plot, Thomas plot, California method, Weibull plot 등이 있고 頻度係數에 依한 方法으로는 Moment 法, 最小自乘法, 岩井法, Gumbel, Gamma, Pearson Type III 등이 있으나 이들 方法이 어느 流域에서나 모두 適用되지는 못한다.

만약 充分한 資料가 있다면, 分析方法에 따르는 確率洪水量의 算定 結果의 誤差가 許用限界 以內에 들지도 모른다. 그러나 大部分 資料의 不充分 等으로 結果

值에서 甚한 起伏을 보이고 있다. 따라서 確率洪水量의 最終決定에서는 이러한 統計的 處理에만 依存하지 않는 보다 廣範圍한 綜合的인 檢討가 要望된다.

本 研究에서는 Weibull plot에 依한 方法과 Gumbel-Chow 方法을 使用하여 確率洪水量을 算定하였다.

Ⅲ. 洪水頻度分析

3-1. Gumbel-Chow 方法에 依한 確率洪水量의 算定

1. 年最大洪水量의 平均(M)

洪水頻度分析에 있어서 年最大洪水流量의 平均은 그 比重이 크며 Cumbel의 極值分布에서는 年最大洪水量의 平均은 再起頻度 2.33년에 該當하는 洪水의 크기와 같음이 理論的으로 確認되어 이를 平均年洪水量(mean annual flood)으로 定義하고 있으나 實際算術平均値인 M값을 쓰지 않는 理由는 資料期間 동안에 發生하는 異常洪水에 따른 偏樹가 일어날 憂慮가 있기 때문이다.

本 研究에서는 먼저 各 地點別로 年最大洪水量의 平均 M을 求하고 이를 地域化시켜 調整한 값을 使用하였다. 여기서는 年最大洪水量의 平均 M과 流域面積 A만을 相關시켰으며 漢江, 錦江, 洛東江을 各各 別個로 하고 榮山江과 蟾津江은 하나로 묶어 4個 地域으로 나누어 誘導한 相關關係式이 (3-1)~(3-4)와 같다.

漢 江

$$M=4.32A^{0.796} \dots\dots\dots(3-1)$$

錦 江

$$M=19.32A^{0.596} \dots\dots\dots(3-2)$$

榮山江, 蟾津江

$$M=1.58A^{0.967} \dots\dots\dots(3-3)$$

洛東江

$$M=19.72A^{0.581} \dots\dots\dots(3-4)$$

2. Gumbel-Chow 統計값의 地域化

標準偏差 σ_x 를 地域化하기 위해 流域面積 A와 相關시켰다. 먼저 地域別로 σ_x 를 計算하고 이들 값을 流域面積과 相關시킨 結果 5大 河川流域 全體를 하나의 相關式으로 代表할 수 없어서 漢江, 錦江, 榮山江, 蟾津江을 한 Group으로 하고 洛東江을 別個로 하여 式 (3-5) (3-6)과 같은 相關式을 作成하였다. σ_x 의 값은 表 3-1과 같다.

漢江, 錦江, 榮山江, 蟾津江

$$\sigma_x=2.95A^{0.766} \dots\dots\dots(3-5)$$

洛東江

$$\sigma_x=79.4A^{0.314} \dots\dots\dots(3-6)$$

3. 地點別 確率洪水量

Gumbel-Chow 方法에 依한 各 地點別 確率洪水量은 表 3-2와 같다.

3-2. Weibull-plot에 依한 確率洪水量의 算定

各 資料值의 累加生起確率을 求하기 위해 全 資料值를 크기 順으로 順位를 定하고 Weibull의 plotting position 公式을 使用하여 各各의 超過確率을 求한 값은 表 3-3과 같으며, 資料로부터 求한 地點別 確率洪水量은 表 3-4와 같다.

Weibull의 plotting position 公式은

$$F=\frac{m}{N+1} \dots\dots\dots(3-7)$$

여기서

p : m 번째 資料의 超過確率

m : 資料의 크기 順位

N : 資料數

表 3-1 Gumbel-Chow 統計 값

水 系	地 點	資 料 數 N	流 域 面 積 A(km ²)	標 準 偏 差 σ_x	標 準 偏 差 log σ_x	相 關 式 σ_x	相 關 式 log σ_x
漢 江	春 川 清 平 丹 陽 忠 州 驪 州 高 安 人 道 橋	21	7884.7	3357	3.526	2845	3.454
		19	10322.3	4977	3.697	3500	3.544
		23	5519.1	2438	3.387	2163	3.335
		22	6657.3	3209	3.506	2495	3.397
		20	11036.0	3257	3.513	3681	3.566
		21	23613.0	6764	3.830	6592	3.819
		23	24753.2	6746	3.829	6840	3.835
錦 江	石 花 龍 潭 沃 川 公 州 窺 岩	20	1590.4	799	2.900	834	2.921
		12	936.8	385	2.585	556	2.745
		21	2942.6	1291	3.111	1334	3.125
		21	7125.8	1656	3.024	2630	3.420
		21	8273.2	2629	3.420	2952	3.470
榮 山 江	仙 岩	21	551.4	447	2.650	371	2.590

	南馬羅	平勒州	22	582.3	509	2.707	386	2.587
			19	634.0	292	2.465	438	2.641
			21	2058.7	1197	3.078	1019	3.003
蟾津江	鴨松	綠亭	18	2447.5	1731	3.238	1161	3.065
			18	4255.7	1777	3.250	1775	3.249
洛東江	東安	村東	22	1544.0	916	2.962	796	2.901
	洛東	東	23	3590.4	1021	3.009	1038	3.016
	倭館	館	23	9369.0	995	2.998	1403	3.147
	玄津	風洞	21	11074.4	1108	3.045	1480	3.170
			23	14000.9	2227	3.348	1592	3.202
			21	20311.0	2165	3.335	1790	3.253

表 3-2 地點別 確率 洪水量 (m³/sec)(Gumbel-Chow)

水 系	地 點	Q ₂₀₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀	Q ₂₅	Q ₁₀	Q ₅	Q ₂
漢 江	春 川	19270	16090	14200	12300	9730	7690	4630
	清 平	21950	19690	17420	15140	15140	9630	5960
	丹 陽	12070	10300	9720	8530	6930	5670	3760
	忠 州	15840	14160	12430	10780	8490	6680	3940
	驪 州	23060	21460	18330	15950	12730	10180	6330
	高 安	40610	36790	32840	28870	23500	19250	12850
	人 道 橋	42320	38160	34050	29980	24430	20040	13430
錦 江	石 龍	4630	4180	3720	3270	2650	2160	1440
	潭 川	3180	2880	2580	2270	1860	1540	1050
	沃 州	7160	6430	5710	4980	3990	3210	2030
	公 莫 岩	13500	12030	10650	9210	7260	5720	3400
		15050	13450	11850	10220	8040	6310	3710
榮 山 江	仙 岩	2180	1950	1720	1500	1180	940	570
	南 平	2170	1960	1750	1540	1250	1030	690
	馬 勒	2480	2240	2000	1760	1440	1180	800
	羅 州	6420	5840	5190	4570	3730	3070	2070
蟾 津 江	鴨 綠	7270	6640	6010	5370	4510	3840	2810
	松 亭	11730	10670	9600	8530	7080	5930	4200
洛 東 江	東 村	4910	4430	3940	3460	2810	2290	1510
	安 東	7480	6750	6020	5270	4270	3480	2290
	洛 東	12100	10910	9720	8520	6900	5620	3690
	倭 館	13140	11850	10560	9250	7500	6100	4000
	玄 風	14770	13320	11870	10400	8420	6860	4500
	津 洞	17800	16050	14300	12530	10150	8220	5430

表 3-4 地點別 確率 洪水量 (단위 : m³/sec)(Weibull-Plot)

水 系	地 點	Q ₂₀₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀	Q ₂₅	Q ₁₀	Q ₅	Q ₂
漢 江	春 川	19600	16700	14200	13600	12300	11000	5400
	清 平	23700	22600	20500	19500	18000	13700	5900
	丹 陽	15600	13400	11300	10000	8100	6400	3650

	忠州	17400	16700	15400	14600	9800	6100	2880
	驪州	24800	21100	17700	16500	11000	6800	5380
	高安	46000	41000	36000	31000	26500	17400	10900
	人道橋	47000	41000	35500	30000	26300	18000	11400
錦江	石花	5000	4500	4000	3300	2850	2530	1390
	龍潭	3000	2700	2450	2000	1770	1330	1030
	沃川	8200	7200	6200	5200	4250	3480	2520
	公州	7200	6500	6000	5200	4900	4150	3100
	竑岩	16800	14800	12500	11000	9000	7550	4000
榮山江	仙岩	2900	2500	2150	1900	1370	940	660
	南平	3600	3200	2900	2650	1790	1340	1090
	馬勒	1800	1600	1400	1300	940	810	660
	羅州	7600	6800	6100	5450	3900	3420	2650
蟾津江	鴨綠	10800	9500	8400	7150	6450	4150	3150
	松亨	11500	10500	9600	7100	7080	6720	5100
洛東江	東村	5200	4600	4000	3500	2970	2170	1560
	安東	6800	6100	5500	4800	4120	3560	2580
	洛東	6800	6400	5700	5100	4730	3950	3200
	倭館	8400	7800	7000	6600	4850	4500	3600
	玄風	14000	13000	11500	11000	7900	7300	5400
	津洞	16000	14800	13500	12000	9800	8850	7600

IV. 流域特性和 多重相關分析

4-1. 概 說

洪水頻度分析에 있어서 確率洪水量과 地形因子들의 多重相關分析을 通하여 決定하는 傾向은 美內務省地質調查所(U.S.G.S) 등에서 많이 쓰이는 方法이며, 本 研究에서는 Weibull plot 및 Gumbel-Chow 方法에 依한 確率洪水量과 地形因子와의 相關關係를 式(4-1)과 같은 型으로 誘導하였다.

$$Q_T = \alpha A^a J^b F^c L^d S^e \dots \dots \dots (4-1)$$

여기서

- Q_T : 再起頻度 T 年의 確率洪水量
- α : Intercept
- a, b, c, d, e : Regression Cefficient
- A : 流域面積
- J : 流域의 平均傾斜
- F : 流域의 形狀係數
- L : 流路長
- S : 河川의 傾斜

4-2. 多重相關分析 I (Gumbel-Chow)

Gumbel-Chow 方法에 依한 相關分析의 結果, $T=200$ 年의 境遇는 A, J, F, L, S 의 順으로, $T=100$ 年에서는 A, J, S, F, L 의 順으로, $T=50$ 年에서 A, J, S, F, L

의 順, $T=25$ 年에서 A, J, F, L, S 의 順, $T=10$ 年에서 A, J, F, L, S 의 順, $T=5$ 年에서 A, J, F, L, S 의 順, $T=2$ 年에서 A, F, L, J, S 의 順으로 相關關係가 나타났으며 全體적으로 보아 流域面積 A 가 相關關係가 가장 크고, 다음으로는 流域의 平均傾斜 J 가 높은 相關을 보였다. 또한 再現期間 T 에 關係없이 流域面積 A 만을 相關시킨 分析結果, 96% 以上の 높은 相關을 나타내었고, 流域面積 A 와 流域의 平均傾斜 J 를 同時에 相關시킨 分析結果는 97% 程度의 相關을 보였으며, 그 以下는 相關關係의 順位가 一定치 않으며, 相關에 미치는 影響이 작은 것으로 나타났다. 標準概算誤差의 範圍는 모두 20~24% 程度였으며, Gumbel-Chow 方法에 依한 相關分析 結果는 表 4-1과 같다.

4-3. 多重相關分析 II (Weibull-plot)

Weibull-plot에 依한 分析結果는 $T_{200}, T_{100}, T_{50}, T_{25}, T_{10}$ 年까지 A, J, F, L, S 의 順으로 相關關係가 나타났으며, T_5 年에는 A, F, J, L, S 의 順으로, T_2 年에서 A, F, L, S, J 의 順으로 相關關係를 보였다. 또한 再起年 T 에 關係없이 流域面積 A 만을 相關시켰을 때는 88.7~94.2%의 相關을 나타냈으며 T 의 값이 작아질수록 높은 값을 보였다. 流域面積 A 와 流域平均傾斜 J 를 同時에 相關시켰을 때에도 T 의 값이 작아질수록 높은 값을 보였으며 그 範圍는 88.4~94.6%를 나타냈

表 4-1 相關分析 I (Gumbel-Chow)

Selection 1 T=300									
Inter-cept	Regression Coefficient					M.C.C.	S.E.E.	Regression equation, Q ₀	
	A	J	F	L	S				
Step 1	3.28278	0.70402				0.966	0.125	26.65	A ^{0.000}
Step 2	3.55799	0.67798	0.27926			0.971	0.113	35.99	A ^{0.000} J ^{0.000}
Step 3	3.56683	0.77116	0.28266	0.14124		0.973	0.211	35.40	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000}
Step 4	3.50191	-1.36041	0.71335	2.16661	1.13898	0.974	0.213	33.18	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000}
Step 5	3.22823	-1.13326	0.36796	1.56891	1.73694	0.974	0.218	25.23	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000} S ^{0.000}

Selection 2 T=100										
Inter-cept	Regression Coefficient					M.C.C.	S.E.E.	Regression equation, Q ₀		
	A	J	S	F	L					
Step 1	3.19820	0.77077				0.959	0.214	24.52	A ^{0.000}	
Step 2	3.15830	0.67618	0.26745			0.973	0.204	31.76	A ^{0.000} J ^{0.000}	
Step 3	3.12117	0.70775	0.29363	0.15107		0.974	0.205	22.72	A ^{0.000} J ^{0.000} S ^{0.000}	
Step 4	3.1312	0.73066	0.31338	0.14571	0.10797	0.975	0.206	22.95	A ^{0.000} J ^{0.000} S ^{0.000} F ^{0.000}	
Step 5	3.30843	-1.28082	0.35293	0.12842	2.07822	1.01563	0.979	0.210	22.39	A ^{0.000} J ^{0.000} S ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000}

Selection 3 T=50										
Inter-cept	Regression Coefficient					M.C.C.	S.E.E.	Regression equation, Q ₀		
	A	J	S	F	L					
Step 1	3.10091	0.69332				0.969	0.213	22.22	A ^{0.000}	
Step 2	3.34515	0.67323	0.29816			0.973	0.205	28.31	A ^{0.000} J ^{0.000}	
Step 3	3.00395	0.70733	0.29763	0.15107		0.972	0.206	20.17	A ^{0.000} J ^{0.000} S ^{0.000}	
Step 4	3.01459	0.73228	0.31673	0.15147	0.11006	0.974	0.209	20.38	A ^{0.000} J ^{0.000} S ^{0.000} F ^{0.000}	
Step 5	3.38667	-1.28551	0.33732	0.12417	2.07753	4.62029	0.974	0.210	19.83	A ^{0.000} J ^{0.000} S ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000}

Selection 4 T=25										
Inter-cept	Regression Coefficient					M.C.C.	S.E.E.	Regression equation, Q ₀		
	A	J	F	L	S					
Step 1	2.93501	0.69674				0.966	0.215	19.73	A ^{0.000}	
Step 2	3.21519	0.67464	0.22117			0.972	0.206	34.91	A ^{0.000} J ^{0.000}	
Step 3	3.22314	0.69527	0.23777	0.11143		0.973	0.203	25.93	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000}	
Step 4	3.14819	-1.45694	0.72722	2.41027	0.71799	0.974	0.207	23.29	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000}	
Step 5	3.86702	-1.42526	0.73531	2.31556	4.30274	1.1527	0.975	0.211	17.59	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000} S ^{0.000}

Selection 5 T=10										
Inter-cept	Regression Coefficient					M.C.C.	S.E.E.	Regression equation, Q ₀		
	A	J	F	L	S					
Step 1	2.78759	0.64281				0.966	0.215	16.24	A ^{0.000}	
Step 2	2.59524	0.71991	0.29098			0.974	0.212	19.99	A ^{0.000} J ^{0.000}	
Step 3	3.01267	0.70362	0.21112	0.11859		0.971	0.213	20.14	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000}	
Step 4	2.92215	-1.56537	0.35292	0.22590	0.42290	0.973	0.211	18.59	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000}	
Step 5	2.63606	-1.25303	0.30948	0.14623	1.70172	0.12295	0.974	0.215	13.96	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000} S ^{0.000}

Selection 6 T=5										
Inter-cept	Regression Coefficient					M.C.C.	S.E.E.	Regression equation, Q ₀		
	A	J	F	L	S					
Step 1	2.61367	0.59712				0.969	0.219	13.68	A ^{0.000}	
Step 2	3.79354	0.37325	0.17442			0.968	0.219	16.34	A ^{0.000} J ^{0.000}	
Step 3	2.80122	0.70337	0.26709	0.12177		0.969	0.221	16.46	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000}	
Step 4	2.71212	-2.13274	0.23342	0.20225	0.58006	0.972	0.219	15.06	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000}	
Step 5	2.11111	-1.29654	0.26745	0.29056	0.24969	0.13252	0.972	0.220	11.24	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000} S ^{0.000}

Selection 7 T=2										
Inter-cept	Regression Coefficient					M.C.C.	S.E.E.	Regression equation, Q ₀		
	A	J	F	L	S					
Step 1	3.07195	0.77396				1.430	0.233	7.70	A ^{0.000}	
Step 2	3.28942	0.71910	0.14050			0.963	0.236	9.36	A ^{0.000} J ^{0.000}	
Step 3	2.8387	-2.44105	0.22795	0.11337		1.036	0.239	8.36	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000}	
Step 4	2.45162	-2.58779	0.41061	0.20117	0.13258	1.966	0.233	9.20	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000}	
Step 5	1.65421	-2.88636	0.21832	0.62854	0.21433	0.12974	1.407	0.238	9.39	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000} S ^{0.000}

表 4-2 相關分析 II (Weibull Plot)

Selection 1 T=200										
Inter-cept	Regression Coefficient					M.C.C.	S.E.E.	Regression equation, Q ₀		
	A	J	F	L	S					
Step 1	3.47956	0.63324				0.977	0.111	48.40	A ^{0.000}	
Step 2	4.55509	0.59795	0.36805			0.984	0.111	70.46	A ^{0.000} J ^{0.000}	
Step 3	4.26678	0.63866	0.35515	0.15678		0.985	0.129	71.29	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000}	
Step 4	4.62754	-6.98912	0.49438	7.65207	15.25546	0.913	0.377	56.12	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000}	
Step 5	3.90312	-6.88584	0.51945	7.36218	15.07272	0.05748	0.909	0.196	-9.55	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000} S ^{0.000}

Selection 2 T=100										
Inter-cept	Regression Coefficient					M.C.C.	S.E.E.	Regression equation, Q ₀		
	A	J	F	L	S					
Step 1	3.71042	0.64040				0.985	0.101	60.37	A ^{0.000}	
Step 2	4.05685	0.60722	0.34342			0.982	0.103	57.77	A ^{0.000} J ^{0.000}	
Step 3	4.07156	0.64857	0.33855	0.18712		0.920	0.107	38.53	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000}	
Step 4	3.84711	-4.50816	0.46221	7.19121	14.31300	0.117	0.170	46.86	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000}	
Step 5	3.72770	-6.40596	0.48639	7.10496	14.13764	0.05511	0.917	0.186	41.58	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000} S ^{0.000}

Selection 3 T=50										
Inter-cept	Regression Coefficient					M.C.C.	S.E.E.	Regression equation, Q ₀		
	A	J	F	L	S					
Step 1	3.50758	0.67413				0.998	0.058	36.71	A ^{0.000}	
Step 2	3.92421	0.66312	0.32103			0.991	0.103	50.21	A ^{0.000} J ^{0.000}	
Step 3	3.93610	0.65021	0.35745	0.19643		0.934	0.101	37.12	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000}	
Step 4	3.72577	-6.86748	0.42668	6.75507	13.11490	0.046	0.169	41.30	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000}	
Step 5	3.60939	-5.96108	0.45030	6.67114	13.24344	0.05262	0.912	0.169	35.35	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000} S ^{0.000}

Selection 4 T=25										
Inter-cept	Regression Coefficient					M.C.C.	S.E.E.	Regression equation, Q ₀		
	A	J	F	L	S					
Step 1	3.38987	0.64917				0.910	0.185	23.66	A ^{0.000}	
Step 2	3.70521	0.51523	0.30991			0.977	0.191	34.96	A ^{0.000} J ^{0.000}	
Step 3	3.71812	0.66481	0.32770	0.20630		1.008	0.190	11.11	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000}	
Step 4	3.51939	-3.67196	0.41860	6.40792	12.67311	0.018	0.169	21.76	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000}	
Step 5	3.37139	-5.54913	0.44819	6.30102	12.45757	0.06833	0.914	1.385	39.12	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000} S ^{0.000}

Selection 5 T=10										
Inter-cept	Regression Coefficient					M.C.C.	S.E.E.	Regression equation, Q ₀		
	A	J	F	L	S					
Step 1	3.30490	0.67031				0.928	0.199	20.15	A ^{0.000}	
Step 2	3.33045	0.63026	0.32034			1.012	0.191	27.95	A ^{0.000} J ^{0.000}	
Step 3	3.14569	0.69320	0.34135	0.21263		0.909	0.190	26.25	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000}	
Step 4	3.15002	-5.21691	0.42643	6.12771	11.81994	0.023	0.195	12.95	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000}	
Step 5	3.12519	-3.10479	0.45315	6.97000	11.62188	0.06229	0.919	0.189	20.30	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000} S ^{0.000}

Selection 6 T=5										
Inter-cept	Regression Coefficient					M.C.C.	S.E.E.	Regression equation, Q ₀		
	A	J	F	L	S					
Step 1	2.74027	0.67583				0.917	0.231	15.03	A ^{0.000}	
Step 2	2.70321	0.74113	0.28454			1.026	0.188	14.43	A ^{0.000} J ^{0.000}	
Step 3	3.40177	0.71568	0.39819	0.20770		0.910	0.189	22.12	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000}	
Step 4	2.86005	-3.80295	0.72355	0.35883	0.30717	0.059	0.160	17.46	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000}	
Step 5	3.23155	-4.11224	0.40895	0.28419	3.58283	0.17196	0.923	0.192	25.12	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000} S ^{0.000}

Selection 7 T=2										
Inter-cept	Regression Coefficient					M.C.C.	S.E.E.	Regression equation, Q ₀		
	A	J	F	L	S					
Step 1	2.70194	0.63271				0.913	0.263	15.91	A ^{0.000}	
Step 2	2.69757	0.67259	0.17701			0.910	0.266	13.14	A ^{0.000} J ^{0.000}	
Step 3	2.32554	1.13114	1.04657	0.16959		0.952	0.257	12.40	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000}	
Step 4	2.79970	-3.75811	0.42309	0.07663	0.08460	0.051	0.265	15.49	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000}	
Step 5	1.72845	-1.38401	0.30758	0.84073	0.10779	0.07283	0.943	0.273	15.33	A ^{0.000} J ^{0.000} F ^{0.000} L ^{0.000} S ^{0.000}

다. 全體의으로 보면 大體의으로 流域面積 A , 流域의 平均傾斜 J 의 順으로 相關을 보였다. 標準概算誤差는 25.6~42.0%의 比較的 높은 값을 보였으며, Weibull-Plot에 따른 相關分析 結果는 表 4-2와 같다.

V. 檢討 및 考察

5-1. 相關分析 I에 對한 考察(Gumbel-Chow)

1. 確率洪水量과 流域面積

Gumbel-Chow 方法에 依한 相關分析에서 確率洪水量과 가장 相關性이 높은 것으로 流域面積이 나왔다. 이는 Selection別로 96.0~96.9%의 相關性을 나타냈으며 再現期間에 따라 回歸係數의 分布는 0.680~0.708의 範圍에 들었다.

2. 確率洪水量과 流域面積, 流域平均傾斜

再現期間 $T_3 \sim T_{200}$ 까지는 流域面積 다음으로 流域의 平均傾斜가 確率洪水量과의 相關性이 높은 것으로 나타나고, T_5 에서는 그 相關性이 네번째로 떨어졌다. 多重相關係數는 流域面積만을 相關시켰을 때보다 높아져 $T_{5 \sim 200}$ 에서 96.8~97.3%의 相關範圍를 보였으며, 回歸係數는 流域面積에서 0.673~0.678, 流域平均傾斜에서 0.175~0.270의 範圍를 나타냈고, T_2 에서는 不規則하여 두번째 높은 相關을 보인 것은 流域形狀係數로서 그 값이 0.141이었다.

3. 確率洪水量과 세번째의 相關因子

確率洪水量과 세번째의 相關을 보인 地形因子는 再起年 T 에 따라 各各 다른 分布를 보여 一定치 않았으며 T_{200} , T_{25} , T_{10} , T_5 에서는 流域形狀係數가, T_{100} , T_{50} 에서는 河川流路의 傾斜가, T_2 에서는 流路長이 세번째로 높은 相關을 보였다.

4. 確率洪水量과 其他의 地形因子

再起年 T 에 따라 4번째, 5번째의 相關因子는 各各 다른 分布를 보였다. T_{200} , T_{25} , T_{10} , T_5 에서는 流路長이 네번째의 相關因子로, T_{100} , T_{50} 에서는 流域形狀係數가 T_2 에서는 流域平均傾斜가 4번째의 相關을 나타냈고, 5번째의 相關因子는 T_{200} , T_{25} , T_{10} , T_5 , T_2 에서는 流路의 傾斜가, T_{100} , T_{50} 에서는 流路의 길이로 나타났다.

Gumbel-Chow 方法에 依한 相關分析에서 流域面積 A 만을 確率洪水量과 相關시켰을 때 그 相關係數가 96% 以上의 높은 값을 보인 것은 年最大洪水量의 平均 M 과 標準偏差 σ_x 의 算定時, 流域面積에 當은 比重을 준 結果, 그 影響을 받은 것으로 判斷되며, 回歸方程式과 標準概算誤差는 表 4-1과 같다.

5-2. 相關分析 II에 對한 考察(Weibull-Plot)

1. 確率洪水量과 流域面積

Weibull-Plot에 依한 分析結果, 確率洪水量과 가장 높은 相關을 보인 地形因子는 流域面積으로서 그 相關係數가 再起年 T_{200} 에서 0.877, T_{100} 에서 0.885, T_{50} 에서 0.889, T_{25} 에서 0.893, T_{10} 에서 0.898, T_5 에서 0.917, T_2 에서 0.942의 값을 보였다. 또한 回歸係數는 T_{200} : 0.633, T_{100} : 0.640, T_{50} : 0.639, T_{25} : 0.649, T_{10} : 0.670, T_5 : 0.676, T_2 : 0.633으로 나타났다.

2. 確率洪水量과 두번째 相關의 地形因子

流域面積 다음으로 確率洪水量과의 相關을 보인 地形因子는 再起年 T 에 따라 다른 값을 보여 T_{200} , T_{100} , T_{50} , T_{25} , T_{10} 에서는 流域의 平均傾斜로 나타났다으나, T_5 , T_2 에서는 流域의 形狀係數로 나타났다. 相關係數는 流域面積만을 相關시켰을 때보다 增加하는 傾向을 보여 $T_{200} \sim T_{10}$ 까지는 0.884~0.903, T_5 에서 0.926, T_2 에서 0.946으로 나타났다. 回歸係數는 流域面積에 對한 값이 $T_{200} \sim T_{10}$ 까지에서 0.598~0.639, 流域平均傾斜에 對한 값이 $T_{200} \sim T_{10}$ 까지에서 0.310~0.369의 範圍를 보였다. 그리고 T_5 에서는 $A^{0.741}$, $F^{0.285}$, T_2 에서 $A^{0.676}$, $F^{0.174}$ 를 나타냈다.

3. 確率洪水量과 3번째 相關因子

確率洪水量과 3번째 相關을 맺은 地形因子로서 $T_{200} \sim T_{10}$ 까지에서는 流域形狀係數로 나타났다으나 T_5 에서는 流域平均傾斜, T_2 에서 流路長으로 나타났다. 相關係數는 0.885~0.952로서 增加하는 傾向을 보이고 있다.

4. 確率洪水量과 4번째 相關因子

4번째 相關因子로서는 $T_{200} \sim T_5$ 까지는 流路長으로 나타나며, 이들 넷의 地形因子를 相關시킨 多重相關係數는 0.913~0.939의 範圍를 보였으며 T_2 에서는 4번째의 相關因子로서 流路傾斜가 나타났다.

5. 確率洪水量과 5번째 相關因子

確率洪水量과 5번째의 相關因子는 $T_{200} \sim T_5$ 에서는 流域의 傾斜, T_2 에서는 意外로 流域의 平均傾斜로 나타났다으며, 이들의 相關係數 分布는 2.909~0.949의 範圍를 보였다.

Weibull-plot에 依한 回歸方程式 및 標準概算誤差는 表 4-2와 같다.

VI. 結 論

本 研究에서는 水文觀測資料가 없는 地點에서도 確率洪水量을 求할 수 있도록, Weibull-plot와 Gumbel-Chow 方法에 依한 確率洪水量과 流域特性과의 多重 相關分析을 行하여 確率洪水量의 算定公式를 誘導하였다. 即 觀測地點의 確率洪水量과 各 獨立變數인 流域面積, 流域平均傾斜, 流域形狀係數, 流路長, 河川傾斜와의 相關關係가 分析되어 確率洪水量公式이 誘導되었

다.

Benson¹⁾에 依하면 美國에서는 流域面積 다음으로 相關關係가 높은 地形因子로서 支流의 傾斜로 나타났으나 本 研究에서는 流域面積 다음으로 相關關係가 높은 地形因子는 大槪의 境遇, 流域의 平均傾斜로 나타났다. 또한 Gumbel-Chow 方法에 依한 相關分析 結果, 流域面積 A만을 相關시켰을 때 그 相關係數가 96% 以上으로 나타난 것은 年最大洪水量的 平均(M)과 標準偏差(σ_x)의 算定時, 地域化하는 過程에서 流域面積에 優位를 둔 結果로 보이며, 流域面積의 相關이 너무 높게 나타나 實用性이 떨어진 것으로 判斷되고, 現實的으로는 Weibull-plot에 依한 分析結果를 擇하는 것이 合理的이라고 믿어진다.

Weibull-plot에 依한 確率洪水量과 流域特性의 相關關係分析에 따른 確率洪水量 公式으로서 가장 適合한 式은 다음과 같다.

$$Q_{200}=48.40A^{0.633}$$

$$Q_{100}=40.87A^{0.640}$$

$$Q_{50}=36.51A^{0.639}$$

$$Q_{25}=29.66A^{0.649}$$

$$Q_{10}=20.18A^{0.670}$$

$$Q_5=15.03A^{0.676}$$

$$Q_2=14.91A^{0.633}$$

參 考 文 獻

1. Beard, L.R., Statistical methods in hydrology; U.S. Army Engineer Dist., Corps of Engineer, Sacrament, Calif, 1962.
2. Benson, M.A., Evolution of methods of evaluating the occurrence of floods; U.S. Geol. Survey Water-Supply Paper 1580-A, 1962.
3. Benson, M.A., Factors influencing the occurrence of floods in a humid region of diverse terrain; U.S. Geol. Survey Water-Supply Paper 1580-B, 1962.
4. Chow, V.T., A general formula for hydrologic frequency analysis; Trans. American Geophys. Union, Vol. 38, pp.231~237, 1951.
5. Cruff, R.W., and Rantz, S.E., A Comparison of methods used in frequency studies for coastal basins in California; U.S. Geol. Survey Water-Supply Paper 1580-E. 1965.
6. Dalrymple, Tate, Flood frequency analysis; U.S. Geol. Survey Water Supply Paper 1543-A, Manual of hydrology, part 3, Flood flow techniques, 1960.
7. Gumbel, E.J., On the plotting of flood discharges; Trans., Amer. Geophys. Union, Vol. 24, part 2. pp. 669~719, 1943.
8. Gumbel, E.J., Probability-interpretation of the observed return-periods of floods; Amer. Geophys. Union Trans., Pt. III, pp. 836~849, 1941.
9. Hazen, Allen., Storage to be provided in impounding reservoirs for municipal Water Supply; Amer. Soc. Civil Engin., Trans. V. 77 pp. 1539~1660, 1914.
10. Jarvis, C.S., and Others., Floods in the United States, Magnitude and frequency; U.S. Geol. Survey Water-Supply paper 771. 1936.
11. 高在雄, 韓國 河川 洪水流量의 頻度分析에 關한 研究, 大韓土木學會誌, 第25卷 第4號, 1977. 12.
12. Powell, R.W., A simple method of investigating flood frequency; *Civil Engin.*, Vol. 13, pp. 105~107, 1943.
13. Reich, B.M., Log Pearson Type III and Gumbel analysis of floods, Water Resources Pub., Proceedings of and Int. Symphs. In Hydrology, Fort Collins, Colorado, 1972.
14. U.S. Water Resources Council, A uniform technique for determining flood flow frequencies; Hydrology Committee Bul. No. 15, 1967.