

韓國主要水系的 小流域에 對한 瞬間單位圖

誘導에 關한 研究 (II)

Studies on the Derivation of the Instantaneous Unit Hydrograph for Small Watersheds of Main River Systems in Korea

李 淳 赫
Soon Hyuk Lee

IV. 瞬間單位圖(IUH)의 分析結果 및 考察

1. 線形 模型(Model)에 依한 瞬間單位圖

1) 分析 方法

(1) 降雨流出의 線形檢定과 瞬間單位圖의 概念的模型(Conceptual Model)

i) 降雨流出에 關한 線形 檢定

降雨流出間에 線形性은 尖頭流量이 單位圖의 一定期間에 내린 流出의 容積에 比例한다는 單位圖理論을 1932年 Sherman이 提唱한 以來 使用되어 왔다. 持히 이러한 線形關係의 가장 重要한點은 一定期間 동안 均一한 強度를 가진 一聯의 有效降雨量에 依한 總流出量은 各期間의 有效降雨量에 依한 個個의 流出量을 合한것과 같다는 事實이다. 單位圖에 있어 重疊의 原理에 依據 持續期間 t_0 인 有效降雨強度의 時間的 分布를 時間的 函數인 $I(\tau)$ 로 하고 시간 τ 에 瞬間的인 單位有效降雨量으로 말미암아 $0 \sim \tau$ 시간까지 有效降雨量으로 인한 t 時에 있어서의 直接流出水文曲線은 回旋 積分(Convolution Integral)인

$$Q(t) = \int_0^{t-t_0} u(t-\tau)I(\tau) d\tau$$

로 나타낼 수 있다.

式에서 $u(t-\tau)$: 核函數(Kernel Function)

이로서 流域에 發生하는 降雨量과 流量을 알면 瞬間單位圖의 縱距인 核函數 $u(t-\tau)$ 를 求할 수 있다. 실제적으로는 降雨과 流出의 線形性이 瞬間單位圖를 基礎로 해서 定義될 수 있다. 瞬間單位圖가 唯一하고 不變의 形狀을 갖게되면 流域에서의 降雨流出關係는 線形性이라고 말할 수 있다. ⁽⁵⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁰⁸⁾⁽¹⁰⁷⁾⁽¹²⁸⁾

이러한 線形性의 關係에서는 前述한 回旋積分을 適用할 수 있으나 非線形性인 境遇에는 이 積分은 應用되지 못한다. 이에 本分析에서는 Nash의 線形模型과 線形 洪水追跡의 適用에 關한 與否를 判斷키 爲하여 本對象小流域에 있어서의 41個의 實測 流量圖에 對한 尖頭流量 Q_p 와 有效雨量 R 과의 回歸關係를 FACOM 230-10 Computer에 依하여 分析한 結果 $Q_p = 0.895A^{0.888}R$ 의 式이 誘導되었고 이의 상관계수는 0.927로서 高度의 有意性이 認定되었다.

$Wu^{(107)(108)}$ 는 Hawaii의 6평방마일 內의 小流域을 相對로 $Q_p = CAR(C: 0.32 \sim 1.4)$ 의 關係式을 誘導하였으며 Wang⁽¹⁰⁹⁾ 역시 Hawaii의 45.7평방마일 內의 流域面積을 가진 29個 流域에서 $Q_p = 12.10A^{0.888}R$ 과 함께 상관계수 0.88로서 高度의 有意性이 認定되었다고 發表하므로서 이는 筆者가 이끌어낸 實驗式과 거의 유사함을 보여주고 있다. 이로서 本對象 小流域들에 對한 瞬間單位圖의 導誘를 線形追跡의 代表的인 Nash模型과 Clark의 洪水追跡方法에 依據分析하는데 對한 妥當性을 認定할 수 있다.

本分析에서 誘導된 $Q_p = 0.895A^{0.888}R$ 에서 $C = 0.895A^{-0.148}$ 로 놓으면 $Q_p = CAR$ 의 式이 成立되며 이는 韓國의 主要水系別 小流域에 있어서의 降雨 流出間의 線形檢定뿐만이 아니라 尖頭流量 決定을 爲한 實驗式으로 勸獎될 수 있다. 本分析을 통해 未計測小流域에 있어서 流域面積과 雨量만 알게되면 쉽게 尖頭流量을 推定해 낼수있는 設計圖表를 그림-15에서와 같이 나타내었다. ⁽⁴⁸⁾⁽⁵⁰⁾⁽⁸¹⁾⁽¹⁰⁷⁾⁽¹⁰⁸⁾

ii) 瞬間單位流量圖의 概念的 模型

Nash의 線形模型에 依하여 對象流域이 線形性으로서 一聯의 N 個 貯水池로 構成되어있을때 瞬間

*忠北大學

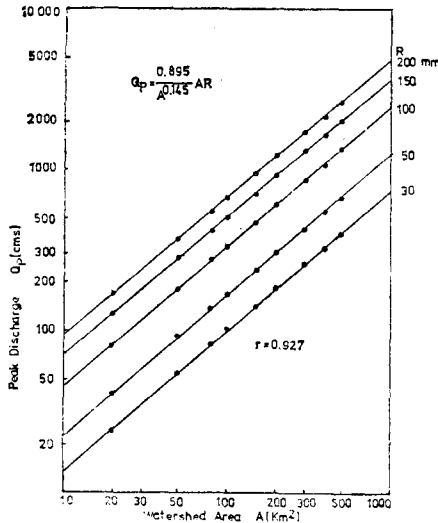


Fig. 15. A log-log plot for preliminary Estimates of Peak Discharges

單位流量에 關한 數學的인 解析을 보면 첫째 貯水池가 瞬間的으로 채워지므로서 2번째 貯水池로 流出되고 또 滿水되므로서 마지막 N번째 貯水池를 通過하는 流出量을 求하고자 하는 것으로 우선 $S = KQ$ (K : 貯溜常數, S : 貯溜量)에서 瞬間流入量이 체적 V 로서 첫째 貯水池에 流入하여 滿水되므로서 첫째 저수지로부터의 流出量이 0에서 V/K 로 增加되고 時間의 經過에 따라 下式과 같이 차츰 減少된다.

(10)(71)(72)(73)(108)(109)(110)

$$Q_1 = \frac{V}{K} e^{-t/k}$$

또 Q_1 은 2번째 貯水池의 流入量으로서

$$Q_2 = \frac{V}{K} \left(\frac{t}{K}\right)^{-t/k}$$

마찬가지로 세번째 貯水池로부터의 流出量은

$$Q_3 = \frac{V}{2K} \left(\frac{t}{K}\right)^2 e^{-t/k}$$

따라서 N번째 貯水池로부터의 流出量은

$$Q_N = \frac{V}{K(N-1)!} e^{-t/k} (t/K)^{N-1} \quad (1)$$

이를 Gamma 函數 $\Gamma(N)$ 으로 代置하면

$$Q_N = \frac{V}{K\Gamma(N)} e^{-t/k} (t/K)^{N-1} \quad (2)$$

集水區에서의 單位 流出量 V 에 對한 單位水深의 瞬間單位流量曲線에 있어 時間分布는

$$U(o,t) = \frac{1}{K\Gamma(N)} e^{-t/k} (t/K)^{N-1} \quad (3)$$

式에서 K : 貯溜常數, $\Gamma(N)$: Gamma 函數

瞬間單位流量圖의 尖頭流量 $U(o,t)_{max}$ 과 尖頭時間 t_m 은 $U(o,t)$ 를 t/K 에 關해 微分하여 零으로 놓음으로써 誘導 되여진다.

$$\frac{1}{K\Gamma(N)} e^{-t/k} [(t/K)^{N-2}(N-1) - (t/K)^{N-1}] = 0$$

$$\text{即 } t/K = N-1 \text{ 故로 } t_m = (N-1)K \quad (4)$$

式 (4)를 式(3)에 代入하므로써

$$U(o,t)_{max} = \frac{1}{K\Gamma(N)} e^{-(N-1)/k} (N-1)^{N-1} \quad (5)$$

式(3)에서 볼수 있는바와 같이 瞬間單位流量圖는 Gamma 函數 因子 N 와 貯溜常數 K 의 2階의 係數와 時間 t 의 函數로 나타내고 K 와 N 이 瞬間單位流量圖의 形狀을 決定하게 한다. 線形模形에서의 貯溜常數 K 와 Gamma 函數因子 N 는 Moment 方法에 依하여 求하여질수 있다. (13)(70)(72)(108) (附錄表-3參照)

$$\text{即 } NK = M_{IUH1} = M_{DRH1} - M_{ERH1}$$

$$N(N+1)K^2 = M_{IUH2} = M_{DRH2} - M_{ERH2} - 2NK$$

$$M_{ERH1}$$

式에서 M_{IUH1} , M_{IUH2} : 原點에 對한 瞬間單位圖의 第一, 第二次 모멘트

M_{DRH1} , M_{DRH2} : 原點에 對한 直接流出曲線의 第一, 第二次 모멘트.

M_{ERH1} , M_{ERH2} : 原點에 對한 有效雨量柱狀圖의 第一, 第二次 모멘트.

2) 分析結果 및 考察

(1) 貯溜常數 (K)와 Gamma 函數因子 (N)

前述한 바와 같이 瞬間單位流量圖 $U(o,t) = f(N)$.

Table 12. IUH Characteristics of Small Watershed

Watershed	Reservoir Storage Constant, K	Gamma-Function Argument N	First Moment M_1 (hrs)	Second Moment M_2 (hrs ²)	IUH Peak Dischrge um (cms)	Time to Peak t_p (hrs)
Maesan	4.2	4.47	9.150	109.138	28.9	7.28
Banwolsung	4.8	3.59	9.830	126.982	65.6	6.87
Janghowon	3.1	3.60	11.322	173.944	109.7	8.20
Kooun	1.9	2.93	7.690	81.825	25.5	4.99
Supyung	4.4	3.35	7.573	88.091	30.8	4.86
Ipyyo	2.0	5.30	6.510	52.480	61.4	5.27
Whasun	3.0	1.81	3.955	25.120	51.5	4.59
Kochang	4.5	4.06	10.475	141.603	51.9	7.79

K)로 表示할 수 있다. 貯溜常數 K 와 Gamma 函數因子 N 은 8個 小流域을 對象으로 線形 模型과 Moment 方法⁽⁷⁰⁾⁽⁷¹⁾⁽⁷²⁾⁽¹⁰⁰⁾⁽¹⁰⁸⁾에 依해 求한 結果 各 小流域別 貯溜常數 K 의 범위는 1.9시간~4.8 시간 을 가리키며 Gamma 函數因子 N 은 1.81~5.30의 범 위를 나타내고 있다. (표-12 參照) $Wu^{(107)(108)}$ 가 Hawaii의 0.3평방마일~45.7평방마일에 걸친 29個 小流域에서 求한 K 值는 0.2~2.2로 N 의 범위는 1.1 ~3.0으로서 本分析에 依한 K 와 N 치보다 작았고 Wang⁽¹⁰⁹⁾의 臺灣에 對한 分析結果는 流域面積 26.5 km²-900km²의 범위내에서 K 值는 0.2~6.1, N 值는 1.9~8.7로서 本分析結果와 平均의으로 거의 類 似的한 값을 나타내고 있다.

또한 D.Blank와 J.W. Delleur⁽⁹⁾는 美國 Indiana 州의 130평방마일 以內의 流域面積에서 41個의 流量 圖를 對象으로 分析한 結果 K 值는 2.4~8.9, N 值는 1.6~7.9로 多少 큰 結果를 가져왔고 Nash⁽⁷³⁾는 英國의 Weaver와 Dane의 流域面積 59평방마일~248평 방마일 內에서 K 는 2.1~10.8로 N 은 2.0~3.5로 이끌어냈으며 Viessman⁽¹⁰¹⁾은 美國 Maryland의 6個 流域에서 1.97~4.40의 K 值를 이끌어내므로써 本 分析의 結果와 거의 一致됨을 나타내었다. 또한 貯溜常數 K 와 流域特性間의 相關關係를 FACOM 230-10 Computer에 依하여 分析한 結果 $K=0.1197 \left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)$ 이 誘導되었고 相關係數 0.9, 分散分析에 依한 F 值 120.42로서 高度의 有意性이 認定되었으 며 한편 河川長, 河川重心長과 河川傾斜와의 關係式 에서 $K=0.0079 \left(\frac{L \cdot L_{ca}}{\sqrt{S}}\right)$ 로서 相關係數 0.84, F 值 69.12로 역시 高度의 有意性이 認定 되었었고 河 川長, 流域面積및 河川傾斜에 對한 分析에서도 $K=0.0057 \left(\frac{L \sqrt{A}}{\sqrt{S}}\right)$ 로 相關係數 0.81, F 值 54.85로 高度의 有意性을 갖고 있었다. 이中에서도 有意性 이 가장 높은 $K=0.1197 \left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)$ 의 使用이 권장되 어진다. 또한 多變數 複合回歸 關係分析을 試圖한바

$K=2.779A^{-1.446} L^{1.956} L_{ca}^{0.648} S^{-0.387}$ 의 式이 誘導 되었으나 F 值 3.26으로서 5%의 有意性만이 認定되 었다. (표-13, 그림-16, 附錄表-4 參照) Clark⁽¹⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹⁰⁸⁾⁽¹¹⁰⁾는 $K=\frac{CL}{\sqrt{S}}$ ($C: 0.8\sim 2.2$)의 式을 誘導 하므로써 本分析에서 誘導된 流域特性과의 相關性에 一致됨을 볼수있었다. 그後 Linsley⁽⁸²⁾⁽⁸⁴⁾⁽⁸⁶⁾⁽⁸⁸⁾⁽¹¹⁰⁾는 Clark의 實驗式에 對한 修正으로 $K=\frac{bL\sqrt{A}}{\sqrt{S}}$ ($b: 0.04\sim 0.08$)을 提唱하였으며 Eaton⁽¹¹⁸⁾⁽⁹⁹⁾은 7個의 Tasmanian 流域에서 $K=13.2 \frac{W}{L} \cdot \frac{A^{\frac{1}{2}}}{R}$ (W : 流域 의 幅, R : 支流係數)를 誘導하였고 Cordery⁽⁶⁾⁽⁸⁾⁽⁸²⁾는 호주 12個 流域에서 $K=11.2 \left(\frac{W}{\sqrt{R}} + \frac{0.5L_n}{\sqrt{S}}\right)^{0.79}$ (W : 流域幅, R : 地表面傾斜, L_n : 格子線)의 式 을 提唱하였으며 Johnstone⁽¹⁾⁽⁸⁾⁽⁸²⁾은 美國 Scioto Sandusky에서 $K=1.5+90 \frac{W}{R}$ (W : 流域幅 R : 地 表傾斜)를 誘導하였고 이어 New South Wales의 100 평방마일 以內되는 21個 流域에서 河川長 만을 關聯 시킨 $K=0.86L^{0.57}$ 의 式을 이끌어 냈으며 또한 Dooge⁽¹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹⁷⁾는 $K=100.5 \frac{A^{0.23}}{S^{0.70}}$ 의 式을 誘 導하므로써 流域面積과 傾斜와의 關聯性을 提示하 였고 Williams⁽¹⁰²⁾는 美國 Texas의 15個 流域에서 $K=16.1A^{0.24} SLP^{-0.84}$ (SLP : 流域 出口와 流域最

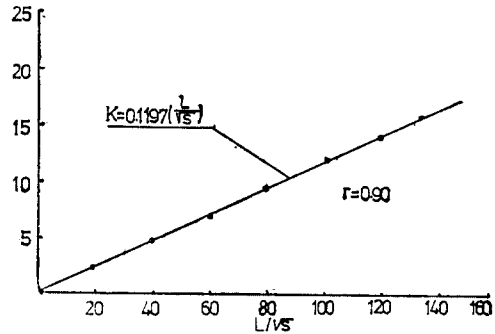


Fig. 16 Relationship between K and Watershed Characteristics

Table 13. Derivation of Empirical Formula for K Value

Empirical Formula	Correlation Coefficient	F Value by Analysis of Variance	Significance
$K=0.1197\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)$	0.90	120.42	Highly Significant
$K=0.0079\left(\frac{L \cdot L_{ca}}{\sqrt{S}}\right)$	0.84	69.12	Highly Significant
$K=0.0057\left(\frac{L \sqrt{A}}{\sqrt{S}}\right)$	0.81	54.85	Highly Significant
$K=2.779A^{-1.446} L^{1.956} L_{ca}^{0.648} S^{-0.387}$	0.46	3.26	Significant

遠點 간의 (標高差)와 함께 複合相關係數, 0.83으로 서 高度의 有意性을 確認하였다.

$Wu^{(108)}$ 는 Hawaii의 小流域에서 $K=0.01085A^{0.69}$ 式의 誘導와 $r=0.93$ 의 高度의 有意性을 認定하였고 Wang⁽¹⁰⁶⁾은 臺灣의 25個流域에서 $K=0.4997A^{0.09414} L^{-0.19398} L_c^{0.82774} S^{0.17781}$ 의 複合相關式을 誘導하였다. 以上の 誘導式에서 보전대 本分析 結果와는 多少 다른 流域特性과 關聯시켜졌음을 볼수있겠다. 徐⁽⁹⁸⁾는 洛東江 流域에서 $K=8.32+0.0213 \frac{L}{\sqrt{S}}$ 를 誘導하였고 이는 本分析에서 採擇된 河川長과 河川 傾斜의 流域特性만으로 誘導되었다는 共通點을 갖고있으나 式의 適用에 依한 K 值는 本分析에 依한 誘導式에서의 K 值보다 큰것으로 미루어 이는 流域面積이 큰 流域을 對象으로 利用이 可能한것으로 思料된다.

한편 Gamma 函數因子 N 와 流域 特性間에 複合 回歸 關係⁽²⁰⁾⁽¹⁰⁹⁾를 FACOM 230-10 Computer에 依해 分析誘導 乃至 有意性 檢定을 試圖한바 그 結果는 表-14에서 보는바와 같이 $N=49.2A^{1.451} L^{-2.202} L_{ca}^{-1.297} S^{-0.112}$ 의 實驗式이 誘導되었고 이는 複合相 關係數 0.54, 分散 分析에 依한 F 值 4.83으로 高度의 有意性이 認定되었으며 上記式에서 河川 重心長 만을 考慮치 않았을 때 $N=62.5A^{0.873} L^{-2.260} S^{-0.167}$ 로서 역시 複合相關係數 0.49 F 值 5.03으로 高度의 有意性이 認定 되었으나 여기에서는 高度의 有意性을 가지고 또한 河川 重心의 要因을 더한 $N=49.2A^{1.451} L^{-2.202} L_{ca}^{-1.297} S^{-0.112}$ 이 더욱 좋은 結果를 나타내고있다. (그림-17 參照) 그리고 河川長을 考慮치않고 流域面積과 河川重心長 및 河川傾斜만의 相關分析을 試圖하여 $N=68.1A^{0.144} L_{ca}^{-1.359} S^{-0.421}$ 의 式이 誘導되었으나 이는 5% 만의 有意性을 가진 點으로 미루어 河川長이 河川重心長에 比해 Gamma 函數 因子 N 에 훨씬 더 큰 影響力을 갖고 있음을 알 수있다. $Wu^{(100)}$ 는 Hawaii의 小流域에서 N 과 流域特性과의 關係에서 流域面積만의 相關으로 $N=14.56A^{-0.291}$ 의 式을 誘導하였고 Wang⁽¹⁰⁸⁾이 臺灣의 25個 流域에서 거개의 流域特性들과 關聯하여 $N=1.899A^{-0.0845} L^{0.40325} L_c^{-0.58248} S^{-0.26822}$ 關係式을 誘導한

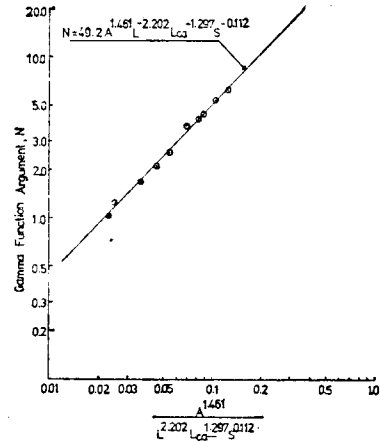


Fig. 17 Relationship between N and Watershed Characteristics

것은 筆者의 誘導結果와 類似함을 보여주고 있다.

2) 瞬間單位流出量의 時間分布와 尖頭流量 및 尖頭流量 到達時間

流出水文曲線의 線形性의 確認으로 韓國의 主要水系別 小流域에 있어서 線形模型에 依한 瞬間單位圖의 誘導와 適用의 妥當性이 認定되며 韓國은 單位有效雨量을 10mm로 하고 流域面積은 km^2 單位로 하므로서 瞬間單位圖의 時間分布는 前述한 式 (3)에서

$$u(0, t) = \frac{2.78A}{K\Gamma(N)} e^{-t/K} (t/K)^{N-1} (m^3/sec) \quad (8)$$

이 誘導되고 瞬間單位圖의 尖頭 流量은

$$u(0, t)_{max} = \frac{2.78A}{K\Gamma(N)} e^{-(N-1)} (N-1)^{N-1} (m^3/sec) \quad (9)$$

(9)이 되며

尖頭 流量 到達 時間은

$$t_m = (N-1)K \text{ (hrs)} \quad (10)$$

이로서 瞬間單位流量圖는

$$u(0, t) = f(N, K, t) \quad (11)$$

로 表示 할수있으며 本分析 對象 8個流域에서 前述한바와 같이 貯溜常數 K 와 Gamma 函數因子 N 을 求한다음 Gamma 函數值 $\Gamma(N)$ 을 求하고 式 (8) (9) (10)式에 依하여 瞬間單位流量의 時間分布와 尖頭流量 및 尖頭到達時間을 FACOM 230-10 Computer에 依해 分析된 結果는 表-12와 같다.

Table 14. Derivation of Empirical formula for Gamma Function Argument, N

Empirical Formula	Multiple correlation Coefficient	F value by Analysis of Variance	Significance
$N=49.2 A^{1.451} L^{-2.202} L_{ca}^{-1.297} S^{-0.112}$	0.54	4.83	Highly Significant
$N=62.5 A^{0.873} L^{-2.260} S^{-0.167}$	0.49	5.03	Highly Significant
$N=68.1 A^{0.144} L_{ca}^{-1.359} S^{-0.421}$	0.44	3.93	Significant

附錄表-5 參照) 瞬間單位流量圖의 尖頭流量은 8個 小流域에서 25.5m³/sec~109.7 m³/sec를, 尖頭到達時間은 4.6hrs~8.2hrs의 範圍로 平均 6.4hrs를 나타내었다. 瞬間單位圖의 尖頭到達時間에 關하여 Wang⁽¹⁰⁾이 台灣 流域에서 分析한 結果를 보면 2.5 hrs~10hrs의 범위로 平均 6.3hrs를 나타낸點으로 미루어 筆者의 結果値와 거의 一致됨을 볼 수 있다.

(3) 瞬間單位圖로부터 單位圖(2hrs)의 誘導

求해진 瞬間單位圖의 持續期間은 거의 零에 가까운 것으로 本分析에서는 實測單位圖의 單位持續時間을 S-Curve方法에 依하여 $t_r=2hrs$ 로 하였기 때문에 瞬間單位圖의 橫軸(時間)을 2時間 間隔으로 等分한

後 各區間의 始點과 終點의 瞬間單位圖 縱距를 平均하여 終點時間에 該當하는 2時間單位圖의 縱距로 取하여 ⁽⁹⁾⁽¹⁴⁾⁽⁹⁵⁾⁽¹⁰³⁾⁽¹¹⁰⁾ 分析한 結果는 表-15와 같다.

有効降雨의 持續時間을 2時間으로 變換시킨 瞬間單位圖의 基底時間 T_b 와 尖頭 流量到達時間과는 $T_b=4.15T_p$ 의 關係로서 實測單位圖에서의 $T_b=4.3T_p$ 와 거의 一致됨을 나타냈고 Victor Mockus ⁽¹¹⁾⁽⁹⁾의 美國 流域에 對한 $T_b=2.67T_p$ 와 徐⁽⁹⁶⁾의 洛東江 流域에 對한 $T_b=3.15T_p$ 에 比해 짧은 尖頭流量到達時間을 가리키고 있다.

(4) 線形 模型(Linear Model)에 依한 減水曲線의 解析

Table 15. Characteristics for IUH by Linear Model($t_r=2hrs$)

River System	Watershed	Area(km ²)	I U H			
			$Q_p(m^3/s)$	$T_p(hrs)$	$T_r(hrs)$	$T_b(hrs)$
Han River	Maesan	112.0	27.8	8.5	26.0	34.5
	Banwolsung	266.5	66.8	8.4	27.0	35.4
	Janghowon	470.2	106.1	9.2	28.8	38.0
Geum River	Koewn	85.3	24.5	6.5	19.5	26.0
Yeongsan River	lpgyo	140.7	55.9	6.7	18.7	25.3
	Whasun	97.7	42.9	4.0	18.0	21.0
Nakdong River	Supyung	84.3	27.1	6.6	23.4	27.7
Inchon River	Kochang	205.6	49.8	8.9	23.4	32.3

實測 流量圖에서 減水定數 K_1 을 求하였음은 前述한바와 같고 여기에서는 減水定數 K_1 과 尖頭流量到達時間 t_p 및 瞬間單位圖 誘導의 重要因子인 Gamma 函數因子 N 과 的 數學的인 解析을 試圖하면 다음과 같다.

$$K' = \frac{t_0 - t_1}{\ln(Q_0/Q_1)} \quad (\text{但 } K' = \frac{1}{\ln K_1})$$

$$K' = \frac{\Delta t}{2.3/\log(Q_0/Q_1)} \quad (12)$$

式 (12)에서 Q_0 : 任意時間 t_0 의 流量

Q_1 : t_1 時의 流量

式 (12)의 兩邊을 尖頭流量到達時間 t_p 로 나누면

$$\frac{K'}{t_p} = \frac{\Delta t/t_p}{2.3 \log \frac{Q_0/Q_p}{Q_1/Q_p}} \quad (13)$$

式 (13)과 線形性 貯水池의 概念的 模型을 聯關시키면

$$Q = \frac{1}{K} \frac{(t/K)^{N-1} e^{-t/K}}{\Gamma(N)}$$

은或 $\frac{Q}{AR} = \frac{1}{K} \frac{(t/K)^{N-1} e^{-t/K}}{\Gamma(N)}$

尖頭 流量到達時間 t_p 는

$$t_p = (N-1)K$$

$$\text{或은 } K = \frac{t_p}{N-1}$$

여기에서 $P=t/K$ 라면

$$\frac{Q t_p}{AR} = \frac{(N-1) P^{N-1} e^{-P}}{\Gamma(N)} \quad (14)$$

尖頭流量 時의 $Q=Q_p, t=t_p$

$$\text{故로 } \frac{Q t_p}{AR} = \frac{(N-1) P^{N-1} e^{-P}}{\Gamma(N)} \quad (15)$$

式 (15)에서 $P=N-1$

式 (14)를 式 (15)로 나누면

$$\frac{Q}{Q_p} = \left(\frac{t}{t_p}\right)^{N-1} [e^{-(N-1)}]^{(t/t_p-1)}$$

式 (13)과 式 (14)를 聯立해서 解析하므로써 $\frac{K'}{t_p}$

과 N 의 關係를 다음 公式으로 誘導해 낼 수 있다.

$$\frac{Q_0}{Q_1} = \frac{(t_0/t_p)^{N-1} [e^{-(N-1)}]^{(t_0/t_p-1)}}{(t_1/t_p)^{N-1} [e^{-(N-1)}]^{(t_1/t_p-1)}}$$

兩邊에 對數를 取하면

$$\ln \frac{Q_0}{Q_1} = (N-1) \left\{ \ln \frac{t_0}{t_p} - \ln \frac{t_1}{t_p} \right\} - (N-1) \frac{t_0-1}{t_p} + (N-1) \frac{t_1-1}{t_p}$$

$$\ln \frac{Q_0}{Q_1} = (N-1) \ln \frac{t_0}{t_1} + \frac{\Delta t}{t_p} (N-1) \quad (16)$$

式 (16)에 式 (13)을 代入하면

$$\ln \frac{Q_0}{Q_1} = (N-1) \ln \frac{t_0}{t_1} + (N-1) \ln \frac{Q_0}{Q_1} \frac{K'}{t_p}$$

$$\text{또는 } \left[1 - (N-1) \frac{K'}{t_p} \right] \ln \frac{Q_0}{Q_1} = (N-1) \ln \frac{t_0}{t_1}$$

$$\text{이로서 } 1 - (N-1) \frac{K'}{t_p} = (N-1) \frac{\ln \frac{t_0}{t_1}}{\ln \frac{Q_0}{Q_1}}$$

$$\text{故로 } \frac{K'}{t_p} = \frac{1}{N-1} - \frac{\ln \frac{t_0}{t_1}}{\ln \frac{Q_0}{Q_1}} \quad (17)$$

이와 같이 瞬間單位流量圖에서의 重要한 因子인 N 은 尖頭到達時間 t_p 와 減水定數 K_1 으로 直接 求할수 있다.

式 (17)에 Q_0, Q_1, t_0, t_1 을 尖頭流量 Q_p , 到達時間 t_p 로 代置 할수 있다.

$$\frac{K'}{t_p} = \frac{1}{N-1} - \frac{\ln \frac{t}{t_p}}{\ln \frac{Q}{Q_p}} \quad (18)$$

이 關係는 Wang⁽¹⁰⁰⁾의 台灣 流域에서의 $\frac{K_1}{t_p}$ 및 $\frac{K}{t_p}$ (K : 貯溜常數)와 Gamma 函數因子 N 間的 有關係를 提示 한바와 一致된다.

(5) 未計測 流域에서의 瞬間單位圖의 尖頭流量과 形狀의 決定

표-13과 표-14에서 보는바와 같이 貯溜常數 K , Gamma 函數因子 N 와 流域 特性과의 關係가 複合 回歸分析에 依하여 誘導되었다^{(71) (72) (100) (108)} 이를 K 와 N 의 關係式을 앞서 誘導한 瞬間單位流量圖의 尖頭流量式과 時間分布式과 關聯시켜서 降雨과 流出的 未計測 小流域에서도 流域面積, 河川長, 河川 重心長 및 河川 傾斜等の 流域特性만 알게되면 該當 小流域에서의 瞬間單位流量圖의 誘導가 可能한 새로운 式을 다음과 같이 이끌어 내었다.

前述한 바와 같이 瞬間單位圖의 尖頭流量은

$$U(o,t)_{max} = \frac{2.78A}{K \Gamma(N)} e^{-(N-1)} (N-1)^{N-1} \text{ (m}^3\text{/sec)}$$

$$= \frac{2.78A}{K} \frac{e^{-(N-1)} (N-1)^{N-1}}{\Gamma(N)} = CF(N)$$

$$\text{여기에서 } F(N) = \frac{e^{-(N-1)} (N-1)^{N-1}}{\Gamma(N)}$$

N 值에 對한 $F(N)$ 과의 關係는 그림-18과 같다.

$$C = \frac{2.78A}{K} = \frac{2.78A}{0.1197 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)} = 23.2AL^{-1}S^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{故로 } U(o,t)_{max} = 23.2AL^{-1}S^{\frac{1}{2}} F(N) \quad (19)$$

또한 瞬間單位圖의 時間分布는

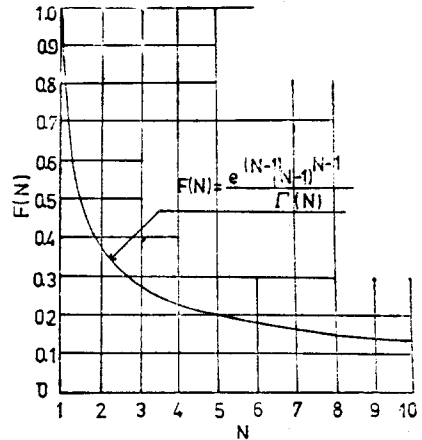


Fig. 18 Relationship between N and $F(N)$

$$U(o,t) = \frac{2.78A}{K} \frac{e^{-t/K} (t/K)^{N-1}}{\Gamma(N)} = CF(N, K, t)$$

$$\text{故로 } U(o,t) = 23.2AL^{-1}S^{\frac{1}{2}} F(N, K, t) \quad (20)$$

$$\text{但 } F(N, K, t) = \frac{e^{-t/K} (t/K)^{N-1}}{\Gamma(N)}$$

여기에서 $F(N, K, t)$ 의 計算은 매우 複雜하나 電子 計算機를 利用하므로써 신속 正確히 풀여낼수 있다.

以上の 分析에서 보건래 本分析에서의 主要水系別 小流域에 對한 瞬間單位流量圖 誘導를 爲한 流域 特性으로서는 流域面積과 河川長 및 河川傾斜의 比重이 큼을 나타내고 있으며 이에 近似한 接近으로서는 Nash^{(70) (72)}가 英國의 90個 流域에서 Gamma 函數因子 N 와 t/K 를 關聯시켜 瞬間單位圖의 尖頭流量의 誘導를 施行하였고 Wu와 Wang⁽¹⁰⁰⁾이 Hawaii 流域에서 流域面積 A 와 貯溜常數 K 와의 回歸 方程式을 利用하여 尖頭流量의 推定을 試圖하였으며 또한 Wang⁽¹⁰⁰⁾은 臺灣의 小流域을 對象으로 貯溜常數 K 의 流域面積, 河川長, 河川重心長, 河川傾斜와 關聯시켜 誘導된 式으로서 瞬間單位尖頭流量과 流量分布를 解析 하였다.

2. 洪水追跡에 依한 瞬間 單位圖

1) 分析方法

貯溜常數 (K)와 基底長(C)가 各流域別로 決定되던 McCarthy^{(5) (12) (14) (32) (34) (36) (37) (106)}의 洪水追跡法인 Muskingum法을 導入하여 다음의 追跡 公式에 依據 段階의으로 展開해 나간다.

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1 \quad (21)$$

$$\text{여기에서 } C_0 = \frac{0.5 \Delta t}{K + 0.5 \Delta t}, C_1 = \frac{0.5 \Delta t}{K + 0.5 \Delta t},$$

$$C_2 = \frac{K - 0.5 \Delta t}{K + 0.5 \Delta t}, C_0 + C_1 + C_2 = 1$$

2) 分析結果 및 考察

(1) 時間-面積圖의 基底長

洪水追跡 方法에 依하여 瞬間單位圖를 追跡하기 爲해서는 가장 根本的인 時間-面積圖의 基底長 C 를 求하여야 한다. 이는 Clark⁽¹⁾⁽⁶⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾와 Johnstone⁽¹⁾⁽⁶⁾⁽⁸⁾이 提示한바와 같이 實測流量圖에서 有効降雨의 重心으로부터 流量圖의 減水曲線上의 第一變曲點間의 時間으로서 對象流域의 採擇된 豪雨別 基底長 C 를 求한 結果 平均的으로 C 값은 6.6hrs로 나타났고 이는 Cordery⁽⁶⁾가 호주의 N.S.W의 流域面積 2.13평방마일~248평방마일에서 求한 3.0hrs보다 上廻하며 徐⁽⁸⁾가 洛東江 6個 流域의 流域面積 149.4km²~1543.9km²에서 求한 平均 C 값 10.2時間 보다는 작은 結果를 가져왔음을 볼 수 있다. 한便 求해진 C 값과 流域特性間의 關係에 있어서 于先 河川長, 河川重心長 그리고 河川傾斜에 關聯하여 分析한 結果 $C=0.778\left(\frac{L \cdot Lca}{\sqrt{S}}\right)^{0.423}$ 으로서 $r=0.85$ 의 有意性이 認定된 反面 河川長과 河川傾斜 및 基底長을 遲滯時間으로 代置하여 河川長과 河川傾斜間의 相關關係를 本結果 $C=1.435\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.584}$ 와 $C=1.033\left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.542}$ 로 各各 誘導되었으나 有意性이 認定되지 않았다. 이로서 主要水系別 小流域에 對한 時間-面積圖의 基底長 $C=0.778\left(\frac{L \cdot Lca}{\sqrt{S}}\right)^{0.423}$ 의 實驗式을 採擇하였다. (그림-19 參照)

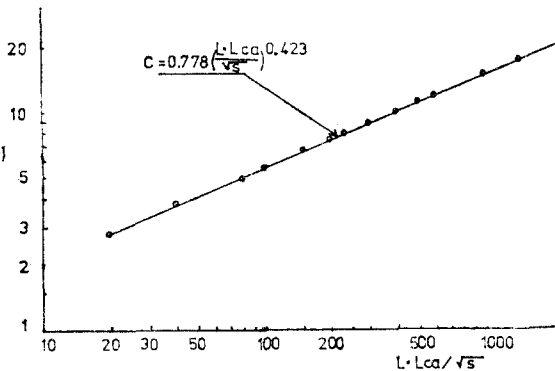


Fig. 19 Relationship between C and $L \cdot Lca / \sqrt{S}$

Johnstone⁽¹⁾⁽⁶⁾⁽⁸⁾은 美國 Scioto-Sandusky流域에서

$$C = \frac{4.7}{r^2} \sqrt{\frac{L}{\sqrt{S}}}$$

(r : 支流係數)

또는 $C=5\sqrt{\frac{L}{\sqrt{S}}}$ 의 式을 誘導 하므로서 河川長과 河川傾斜와 關聯하여 誘導하므로서 本分析에서의 流域特性因子와 近似함을 나타내었다. 또한

Eaton⁽¹⁸⁾은 호주의 Tasmanian 流域에서 $C=Y\left(\frac{L \cdot A}{r}\right)^{0.37}$ ($Y:0.7\sim 4.7$ $r:1.0\sim 2.0$)의 式을 誘導 하므로서 河川長, 流域面積 및 支流係數와 關聯시켰고 한편 Cordery⁽⁶⁾는 호주의 New South Wales 流域에서 粗度係數 n 을 附加한 河川長, 河川重心長 및 河川傾斜와 關係分析에서

$$C=56.3\left\{\frac{(L \cdot Lca)^{0.3n}}{\sqrt{S}}\right\}^{0.8}$$

로서 粗度係數 n 을 除外하면 本分析에서의 河川長, 河川重心長 및 河川傾斜와 關係式과 類似함을 보여 주었다. 일면 徐⁽⁸⁾는 洛東江 流域에서 $C=0.9\left(\frac{L \cdot Lca}{\sqrt{S}}\right)^{0.5}$ 의 式을 誘導하므로서 筆者의 C 式과 거의 近似한 結果를 가져왔다.

(2) 貯溜常數

洪水追跡方法에 依한 瞬間單位圖 誘導에 있어서 時間-面積圖의 基底長 C 와 함께 必要한 貯溜常數 K 의 값은 前述한 Moment 方法에 依하여 求하였다.

(70)(71)(72) (표-12 參照)

本分析에서 全體 流域의 平均的인 K 値는 3.5hrs로서 나타났다. Nash⁽⁷³⁾는 英國의 流域에서 平均 6.4의 K 値를 보였고 D. Blank와 J.W. Delleur⁽⁷⁴⁾는 美國 Indiana의 Ridgeville 流域에서 平均 4.2의 K 値를 發表하였으며 Cordery⁽⁶⁾는 호주 12個 流域에서 2.0의 K 値를 그리고 徐⁽⁸⁾는 洛東江流域에서 平均 9.1의 K 値를 提示함으로써 流域의 크기에 따라 多少의 振幅을 나타냈다. 한便 比較分析을 爲해 Clark 方法에 依하여 實測水文曲線에서 K 를 求해 본 結果 前者에 비해 多少 높은 結果를 가져왔고 이들 값에 依해 誘導된 單位圖와 實測代表單位圖와 比較하여 本 結果 實測水文曲線의 減水曲線에서의 貯溜常數 K 에 依한것 보다 Moment 方法에 依한 貯溜常數 K 에 依한 單位圖가 實測代表單位圖에 훨씬 接近하였음을 볼 수 있다. 이는 호주의 Cordery⁽⁶⁾가 N.S.W 流域의 研究分析에서 主張한 바와 같이 Clark나 Johnstone에 依한 實測水文曲線上에서 求해진 基底長 C 와 貯溜常數 K 値의 使用으로서 유도되었던 合成單位圖는 流域의 單位圖를 이끄는데 貧弱한 結果를 나타내었음을 實證한 事實과 거의 一致됨을 보여주고 있다. 即 이 單位圖에서 大體的으로 尖頭流量到達時間은 實際的인 좋은 結果를 가져오므로서 이는 基底長 C 의 適合性을 認定하였으나 反面에 尖頭流量値와 單位圖의 上部部 및 下降部의 形狀이 좋지 않았음은 貯溜常數 K 치의 不適에서 오는 것으로 言及하였고 이 때문에 Clark나 Johnstone에 依해서 提示된 水文曲線으로

부터 求해진 基底長 C 나 貯溜常數 K 의 값은 流域의 代表單位圖에 對한 合成單位圖의 試算에 依하여 S 나 K 값이 調整決定 되어져야만 한다고 提唱하였다. 이런面에서 볼 때 Moment 方法에 依하여

객觀적으로 誘導되어진 貯溜常數 K 값으로 流域特性和 關聯시킨 關係式을 이끌어 내므로서 他同性流域에도 使用할 수 있다는 事實을 主張하였다. (70)(73)(108)(108) 以上에서 求한 各小流域別 基底長 C 를 근거로 Laurenson⁽⁶²⁾의 等時流達時間(Isochrone) 分割法에 依據하여 各區間에의 到達時間을 求하였다. (그림 20~27 參照)

$$T_{1-n} = \frac{L_1 + L_2 + \dots + L_n}{\sum L_i} \cdot C$$

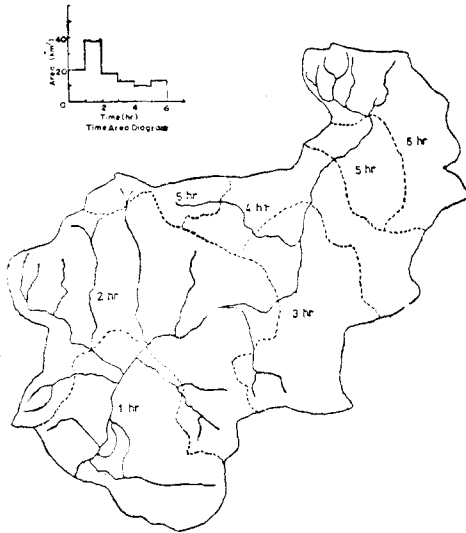


Fig. 20 Isochrone Pattern and Time-Area Diagram at Maesan of Han River Basin

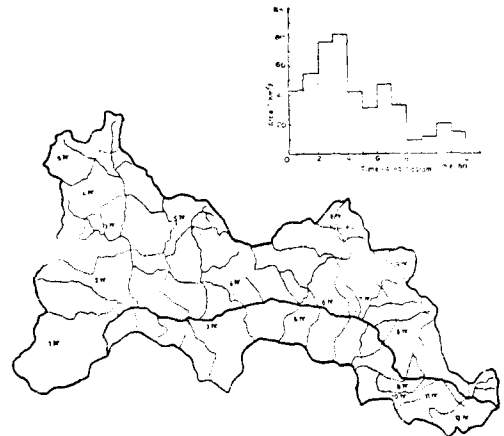


Fig. 22 Isochrone Pattern and Time-Area Diagram at Janghowon of Han River Basin

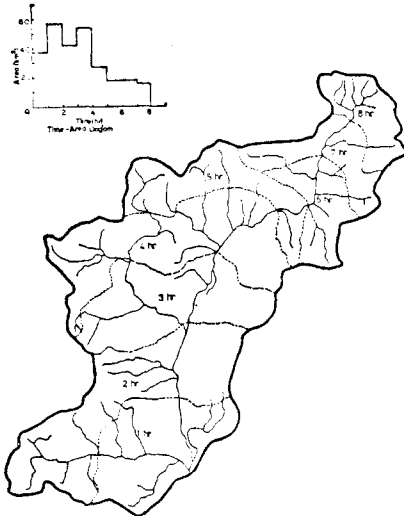


Fig. 21 Isochrone Pattern and Time-Area Diagram of Banwolsung of Han River Basin

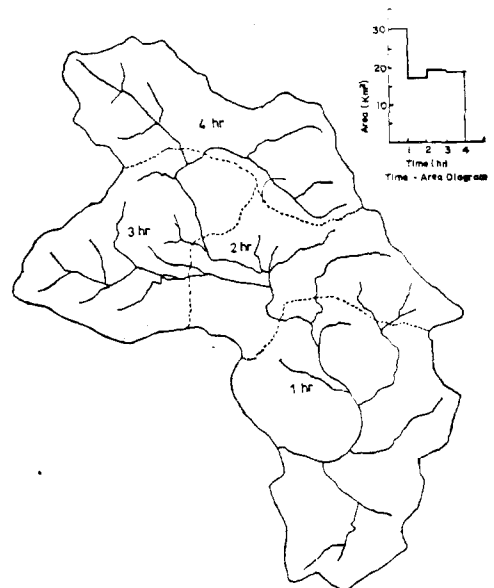


Fig. 23 Isochrone Pattern and Time-Area Diagram at Koemun of Keum River Basin

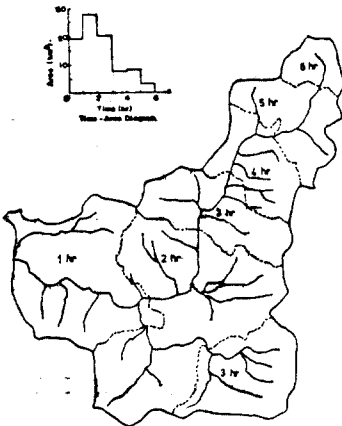


Fig. 24 Isochrone Pattern and Time-Area Diagram at Supyung of Nakdong River Basin

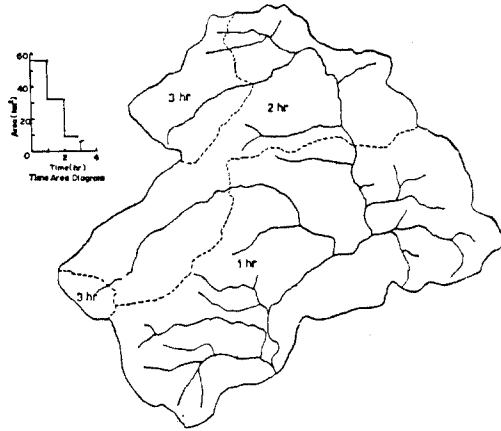


Fig. 26 Isochrone Pattern and Time-Area Diagram at Hwasun of Yeongsan River Basin

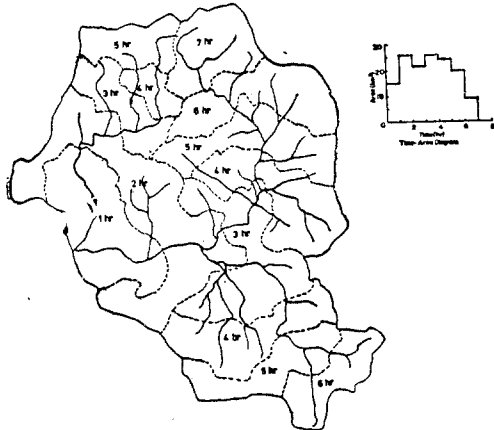


Fig. 25 Isochrone Pattern and Time-Area Diagram at Ipgy of Yeongsan River Basin

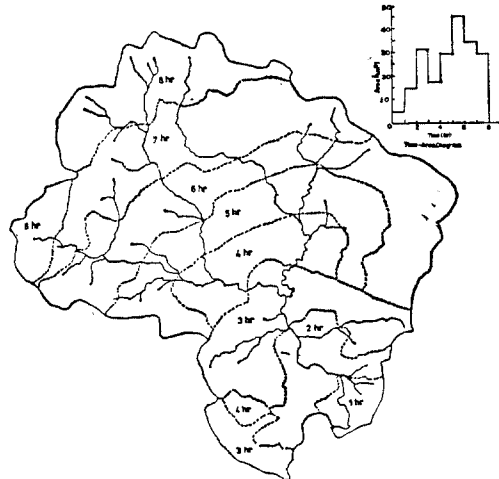


Fig. 27 Isochrone Pattern and Time-Area Diagram at Kochang of Incheon River Basin

(3) 瞬間單位圖의 誘導

基底長 C 와 等時流達時間 (Isochrone) 의 分割로서 時間-面積柱狀圖가 求하여지고 또한 貯留常數 K 가 決定되므로서 前述한 McCarthy의 Muskingum法을

導入하여 分析하였다. (附錄表-6 參照)

이로서 瞬間單位圖 追跡公式를 各小流域別로 誘導한 結果는 表-16과 같다.

Table 16. IUH Equation by Routing Method

River System	Sub Watershed	C (hrs)	K (hrs)	Equation
Han River	Maesan	5.9	4.2	$0.212 I + 0.788 O_1$
	Banwolsung	8.4	4.8	$0.180 I + 0.820 O_1$
	Janghowon	11.7	3.1	$0.278 I + 0.722 O_1$
Geum River	Koeun	4.3	1.9	$0.42 I + 0.58 O_1$
Nakdong River	Supyung	5.8	4.4	$0.20 I + 0.80 O_1$

Yeongsan River	Ipgyo Whasun	6.5 2.8	2.0 3.0	0.40 $I+0.60O_1$ 0.28 $I+0.72O_1$
Inchon River	Kochang	8.1	4.5	0.20 $I+0.80O_1$

分析의 結果에서 보전대 實測代表單位圖에 比較 大概의 流域 들이 尖頭流量이 多少 높은 便으로 이 는 本 解析方法에 있어 決定的인 要素가 되는 基底長 및 貯溜常數의 正確한 決定의 어려운 點에서 연 유되는 것으로 풀이 된다. 이와 같은 事實은 Cordery⁽⁶⁾가 호주의 12個流域에서 分析된 結果에서 指摘 했듯이 Clark⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾ 方法에 依한 實測水文曲線 에서의 직접적인 基底長 C 나 貯溜常數 K 의 求值는

單位圖 誘導의 貧弱性을 越來케 된다는 主張으로 미 루어보아 基底長과 貯溜常數에 대한 新빙성 있는 追 求의 어려움을 充分히 代辯하여 주고 있다. 以上에 서 分析된 瞬間單位圖는 代表單位圖와 Nash의 瞬間 單位圖($t_r=2$ hrs)와 比較分析키 爲해 單位圖의 持續時間을 2시간으로 變換시켰다. ⁽¹²⁾⁽⁶⁸⁾⁽¹⁰⁸⁾⁽¹¹⁰⁾ (附 錄表-6 參照)

3. 分析方法에 따른 瞬間單位圖(IUH)와 代 表單位圖와의 比較

以上의 分析에서 誘導된 實測 代表單位圖와 瞬間 單位圖의 比較를 8個小流域別로 나타낸 結果는 그 림 28~35와 같다.

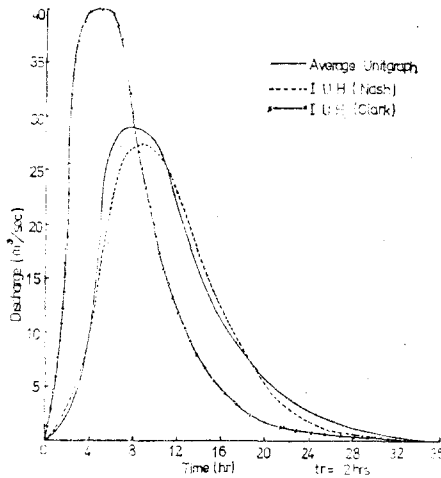


Fig. 28 Comparison of Average Unitgraph, IUH by Nash and IUH by Clark at Maesan of Han River Basin

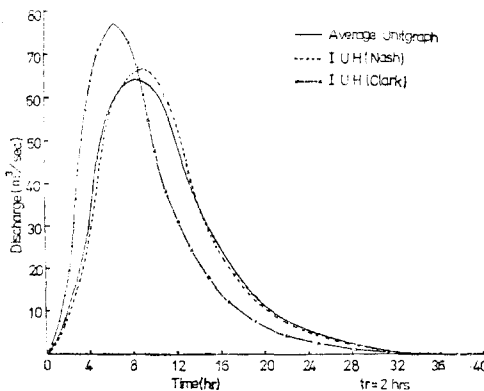


Fig. 29 Comparison of Average Unitgraph, IUH by Nash and IUH by Clark at Banwolsung of Han River Basin

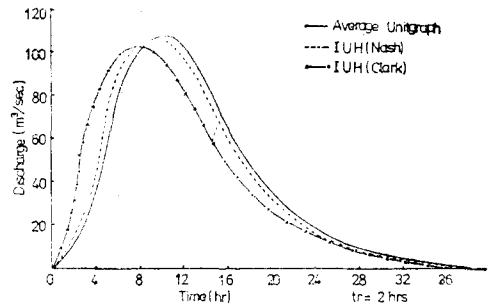


Fig. 30 Comparison of Average Unitgraph, IUH by Nash and IUH by Clark at Janghwon of Han River Basin

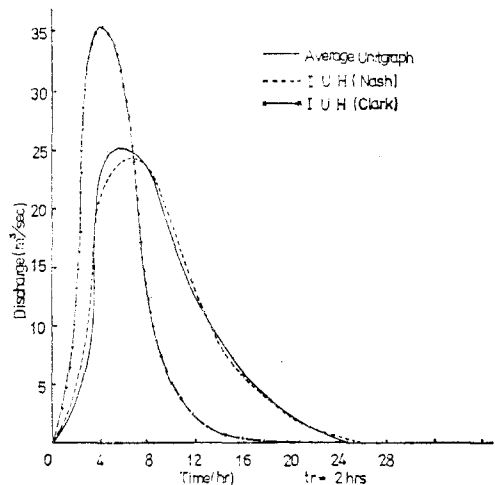


Fig. 31 Comparison of Average Unitgraph, IUH by Nash and IUH by Clark at Koen of Keum River Basin

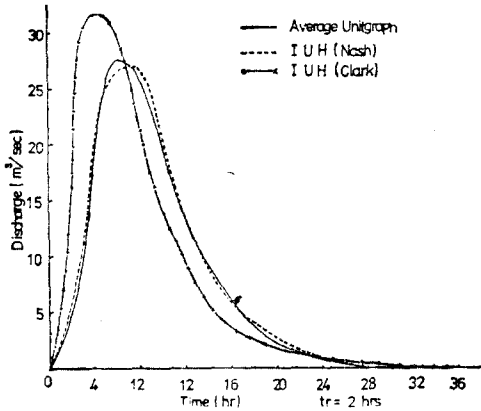


Fig. 32 Comparison of Average Unitgraph, IUH by Nash and IUH by Clark at Supyung of Nakdong River Basin

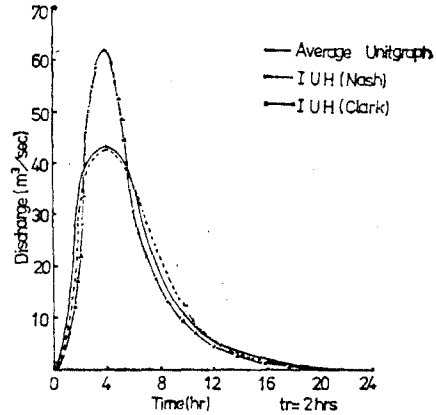


Fig. 34 Comparison of Average Unitgraph, IUH by Nash and IUH by Clark at Hwasun of Yeongsan River Basin

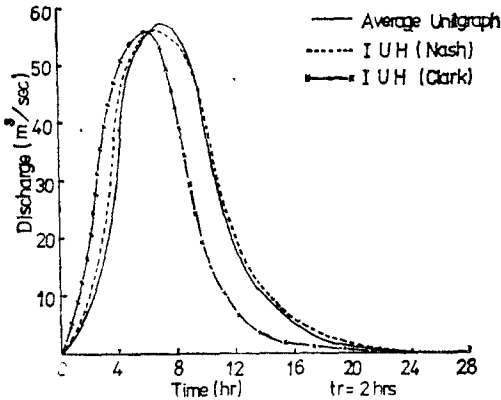


Fig. 33 Comparison of Average Unitgraph, IUH by Nash and IUH by Clark at Ipygo of Yeongsan River Basin

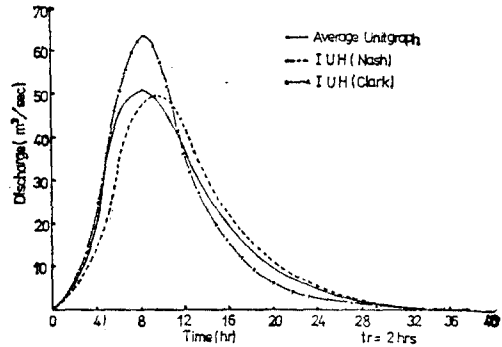


Fig. 35 Comparison of Average Unitgraph, IUH by Nash and IUH by Clark at Kocheang of Incheon River Basin

또한 分析方法別 瞬間單位圖 尖頭流量을 代表單位圖의 尖頭流量과 比較 分析한 結果 代表單位圖에 比해서 Nash의 瞬間單位圖에 對한 尖頭流量은 2.5%의 誤差로서 代表單位圖에 매우 接近한 좋은 結果를 가져온 反面 Clark의 洪水追跡에 依한 瞬間單位圖의

尖頭流量은 全體 流域을 平均하여 16.9%의 誤差로 多少 높은 便이며 다만 漢江의 長湖院 地區가 0.6% 榮山江 笠橋地區가 1.7%로서 비교적 좋은 結果를 가져왔을 뿐이다. (표-17 參照)

이와같이 Nash의 瞬間單位圖의 높은 精度에 反하

Table 17. Comparison of Peak Rate of Unitgraph ($tr=2$ hrs)

River System	Sub Watershed	Peak Rate (m ³ /sec)			Error rate to the Average(%)	
		Average Unitgraph	IUH(Nash)	IUH (Clark)	IUH(Nash)	IUH (Clark)
Han River	Maesan	28.9	27.8	39.9	3.8	*38.0
	Banwolsung	63.8	66.8	77.2	4.7	21.0
	Janghowon	106.7	106.1	100.2	0.5	0.6
Geum River	Koeun	25.7	24.5	35.4	4.7	37.7
Nakdong River	Supyung	27.6	27.1	31.9	1.8	15.6

Yeongsan River	Ipgyo	57.4	55.9	56.4	2.6	1.7
	Whasun	43.2	42.9	62.7	0.7	*45.1
Inchon River	Kochang	50.5	49.8	63.2	1.4	25.1
Mean	—	—	—	—	2.5	16.9

*Omitted from the Mean

여 Clark의 瞬間單位圖의 多少 높은 誤差는 Nash가 主張한바와 같이 Clark의 理論은 實際 流域에서 適切히 시험되기는 어렵다는 結論과 또한 Cordery (6) (7)가 言及한 바와 같이 Clark나 Johnstone의 方法에 依한 媒介變數로서는 만족스러운 單位圖 유도가 不可하였다는 主張에 一致됨을 確認할 수 있었다. 結果의으로 韓國에서는 本研究에 依해 最初로 試圖된 主要水系別 小流域에 있어서 線形性 模型에 依한 瞬間單位圖의 誘導가 매우 좋은 結果를 가져왔음은 特記할만한 事項이라고 볼수 있겠다.

V. 綜合 考察 및 結論

本 研究에서는 韓國主要水系的 小流域에서의 降雨와 流出의 解析으로서 農業用水源 開發은 勿論 其他一切의 水資源 開發을 爲한 水文構造物의 設計 施工에 있어 計劃洪水量 推定과 洪水調節 乃至는 各種 水文計劃에 利用可能케 하기爲하여 單位圖 基本理論에 立脚한 降雨持續期間이 짧은 豪雨事象과 流域面積이 작은 小流域을 對象으로 實測單位圖의 誘導와 함께 流域 特性值間의 相關 關係를 分析 檢討하고 無計測 流域에서도 利用可能한 線形模型에 依한 瞬間單位圖 導入과 이의 應用 및 精度를 分析하며 아울러 洪水追跡方法에 依한 瞬間單位圖와의 比較分析을 試圖한바 다음과같은 結論을 얻었다.

1. 各 流域別로 採擇된 流出을 誘發한 豪雨에 對한 時間의 分布를 分析한 結果 降雨強度의 分布가 均等한 樣相을 보여주고있어 單位圖解析 및 適用에 妥當性을 認定 하였다.
2. 基底流出과 直接 流出은 물매急變點法에 依하여 分離되었으며 여기에서 減水定數 K_1 의 全流域에 對한 平均値는 0.931로서 比較的 完만한 減水樣相을 보여주었다.
3. 尖頭流量의 到達時間은 平均的으로 基底時間의 0.23程度로 大流域에 比하여 多少 빠른 尖頭流量의 到達時間을 나타내었다.
4. 實測流量圖에 對한 尖頭流量과 有効雨量間에는 相關係數 0.927로서 高度의 有意性과 함께 線形

性 模型의 適用에 妥當性이 認定되었다.

5. 對象流域의 河川傾斜는 1.46m/km~13.6m/km로 比較的 높은 傾斜를 보였고 또한 河川長은 9.4km~41.75km로 比較的 짧은 便이었다. 이는 各 河川의 上流에 支流가되는 小流域이 選定되었기 때문이다.

6. 對象流域의 河川長과 流域面積 間에는 $L=2.044A^{0.48}$ 로서 相關係數 0.968의 高度의 有意性이 認定 되었으며 이는 世界 各河川에서의 誘導式인 $L=1.89A^{0.4}$ 과 近似한 關係를 나타내었다.

7. 遲滯時間과 流域特性間의 分析에 있어서 遲滯時間은 河川傾斜 보다도 流域面積과 河川長과의 相關關係가 더욱 높다는 結論을 얻었고 流域面積만을 除外한 河川長, 河川中心長 및 河川傾斜와의 관계에서는 5%의 有意性만이 認定되었다. 한便 比流量은 遲滯時間에 反比例됨이 確認되었다.

8. 單位圖의 基底時間과 遲滯時間과는 相關關係가 高度로 認定되고 基底流出의 分離方法 如何에도 多少 影響됨이 確認되었다.

9. 線形性 模型에 依한 瞬間單位圖 分析에 있어서 貯溜常數 K 와 Gamma函數因子 N 의 計算을 客觀的 妥當性이 있는 Moment法에 依하여 分析 하였고 이들과 流域特性間의 分析에 있어서 貯溜常數 K 는 河川長과 流域傾斜와 關聯하여 相關係數 0.90으로서 高度의 有意性을 나타냈으며 Gamma函數因子 N 은 流域面積, 河川長, 河川中心長 및 河川傾斜와의 複合相關關係에서 역시 高度의 有意性이 認定 되었다.

10. 線形 模型에 依하여 韓國의 單位有効雨量 10mm, 流域面積 km^2 單位로한 瞬間單位圖의 時間分布, 尖頭流量 및 尖頭流量 到達時間에 關한 關係式을 定立하였다.

11. 線形模型에 依하여 減水曲線의 數學的인 解析으로 減水定數와 尖頭流量 및 到達時間과를 結付시켜 Gamma函數因子 N 과의 關係式을 誘導하였다.

12. 貯溜常數 K 와 Gamma函數因子 N 에 對한 流域特性 들間의 實驗式을 誘導하고 이들間의 高度의 有意性을 確認하였으며 이들 誘導된 式을 利用하여 未計測流域에서도 流域面積, 河川長 그리고 河川傾

斜면 알게 되면 瞬間單位圖의 時間分布와 尖頭流量을 쉽게 求할수 있는 式을 誘導하였다.

13. 洪水 追跡에 依한 瞬間單位圖의 追求를 爲해서 必要한 時間一面積圖(T.A.D.)의 基底長은 河川長, 河川重心長 및 河川傾斜와 關聯하여 $r=0.85$ 로서 相關 關係를 認定하는 實驗式이 誘導되었으나 基底長 發見의 要點이되는 減水線曲上에서의 第一變曲點의 發見이 어렵고 또 이로인한 誤差로 말미암아 무엇보다도 正確한 基底長의 決定이 先行되어야만 비로소 신빙성 있고 精度가 높은 單位圖 誘導가 可能함이 認定되었다.

14. 線形 模型에 依한 瞬間單位圖와 洪水 追跡에 依한 瞬間單位圖를 2時間 單位圖로 各各 統一시켜 實測된 2時間 代表單位圖의 尖頭 流量과 比較分析한 結果 代表單位圖에 比하여 Nash의 瞬間單位圖는 全流域에 걸쳐 2.5%의 誤差로서 比較의 높은 精度를 나타낸 反面 洪水 追跡에 依한 瞬間單位圖는 漢江 長湖院 流域의 0.6%, 榮山江 笠橋流域 1.7%의 誤差를 除外한 全流域에 對해서 16.9%의 多少 높은 誤差를 보여 주었다.

本研究에서는 線形 模型에 依한 瞬間 單位圖의 誘導 및 分析이 매우 좋은결과를 가져왔음은 特記 할만 하며 特히 流域의 林相이 아직 不良하고 傾斜가 急하며 夏季에 集中的인 豪雨現象을 갖는 韓國의 인 與件으로서의 小流域을 對象으로 한 線形模型에 依한 瞬間單位圖의 適用과 未計測 流域에서의 應用이 크게 期待된다.

VI. 摘 要

本研究는 農業用水源 開發은 勿論 其他 水資源開發을 爲한 水文構造物의 計劃 設計에 있어서 洪水 推定과 調節 乃至는 水文處理에 絶對的으로 必要한 單位圖의 誘導를 爲하여 韓國의 河川을 代表 할수 있는 主要水系인 漢江, 錦江, 洛東江 및 榮山江 그리고 仁川江의 上流 8個 小流域(84km²~470km²)을 對象流域으로 選定하고 該當流域에 對한 自記 降雨量과 水位 및 流量 資料를 根據로 短時間의 豪雨와 降雨 強度의 고른 分布를 갖는 小流域을 擇하므로써 보다 신빙성 있는 實測單位圖의 誘導와 未計測 流域에서도 利用可能한 線形模型에 依한 瞬間單位圖의 誘導, 應用 및 洪水追跡에 依한 瞬間單位圖의 誘導와 함께 比較分析을 遂行한바 그結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 採擇된 豪雨에 對한 時間的 分布의 分析에서

均等한 降雨強度의 分布樣相을 나타내었다.

2. 水文曲線上의 下降部에 있어서 減水定數 K_1 의 全流域에 對한 平均値는 0.931 이었다.

3. 實測單位圖에서 尖頭流量 到達時間은 平均的으로 $T_b=4.3T_p$ 로서 比較의 빠른 便이었다.

4. 實測流量圖에서 $Q_p = \frac{0.895}{A^{0.146}} AR$ 의 實驗式이 誘導되었고 尖頭流量과 有効雨量間에는 相關係數 0.927로서 高度의 有意性이 認定되었으며 小流域에 있어서의 流域面積과 有効雨量에 따른 尖頭流量의 設計圖表(그림-15 參照)를 定立하였다.

5. 流域의 河川傾斜는 1.46m/km~13.6m/km 범위로 比較的 急하며 河川長은 9.4km~41.75km로 짧아 매우 빠른 洪水到達時間을 갖는것이 特徵的이었다.

6. 流域의 河川長과 流域面積 間에는 $L=2.044 A^{0.48}$ 의 關係式이 誘導되고 이는 相關係數 0.968로서 高度의 有意性이 認定되었다.

7. 遲滯時間과 流域特性과의 關係에서 $Lg=3.28A^{0.004} L^{-1.003}$ 의 關係式과 함께 高度의 有意性이 2認定되었으나 河川長, 河川重心長 및 河川傾斜와의 相關 關係에서는 $Lg=0.247 \left(\frac{L \cdot L_{ca}}{\sqrt{S}} \right)^{0.004}$ 의 式으로서 5%의 有意性 만을 갖고 있는 點으로 미루어 小流域에서의 遲滯時間은 流域面積과 河川長에 密接한 關係를 보여 주었다. 한편 遲滯時間과 最大 比流量間에는 $q_p=10^{-0.003-0.0074Lg}$ 의 式이 誘導되었고 相關係數 0.91로서 高度의 有意性이 認定되므로써 比流量은 遲滯時間에 反比例 現象을 나타냄이 認定되었다.

8. 單位圖의 基底時間과 遲滯時間 間的 關係에서 $T_b=1.14+0.564 \left(\frac{Lg}{24} \right)$ 式과 함께 高度의 有意性이 認定되었다.

9. 線形 模型에 依한 瞬間單位圖의 誘導의 있어서 必須的인 貯溜 常數 $K=0.1197 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)$ 의 式이 誘導되었고 이는 相關係數 0.90으로서 高度의 有意性이 認定되므로써 河川長과 河川傾斜와의 밀접한 關係를 알수 있으며 또한 Gamma 函數因子 $N=49.2A^{1.001} L^{-2.002} L_{ca}^{-1.001} S^{-0.112}$ 의 式과 함께 多變數 複合回歸關係로서 F 值 4.83으로 高度의 有意性이 認定되었다.

10. 線形 模型에 依하여 單位圖의 單位有效雨量 10mm, 流域面積 km², 單位의 瞬間單位圖의 時間 分布는

$$U(0,t) = \frac{2.784}{K\Gamma(N)} e^{-t/K} (t/K)^{N-1} (m^3/sec)$$

瞬間單位圖의 尖頭流量은

$$U(0, t)_{max} = \frac{2.78A}{K\Gamma(N)} e^{-(N-1)t} (N-1)^{N-1} (m^3/sec)$$

尖頭流量到達時間은

$$t_p = (N-1)K \quad (hrs)$$

등의 關係式을 定立하였다.

11. 線形 模型에 依한 減水曲線의 數學的인 解析의 試圖로서

$$\frac{K'}{t_p} = \frac{1}{N-1} - \frac{\ln \frac{t}{t_p}}{\ln \frac{Q}{Q_p}} \quad (但 K' = \frac{1}{\ln K_1})$$

의 關係式을 誘導하므로써 減水定數와 尖頭流量 및 到達時間 그리고 Gamma 函數因子間的 關係를 나타냈다.

12. 貯溜常數 K 및 Gamma 函數因子 N의 實驗式을 結付 시키

瞬間單位圖의 時間分布는

$$U(0, t) = 23.2AL^{-1}S^{\frac{1}{2}} F(N, K, t) (m^3/sec)$$

$$但 F(N, K, t) = \frac{e^{-t/K}(t/K)^{N-1}}{\Gamma(N)}$$

瞬間單位圖의 尖頭流量은

$$U(0, t)_{max} = 23.2AL^{-1}S^{\frac{1}{2}} F(N) (m^3/sec)$$

$$但 F(N) = \frac{e^{-(N-1)}(N-1)^{N-1}}{\Gamma(N)}$$

의 式을 誘導하였고 이로서 無計測 流域에서의 單位圖 誘導를 可能케 하였다.

13. 洪水追跡에 依한 時間-面積圖의 基底長에서

$$C = 0.778 \left(\frac{L_1 L_{cs}}{\sqrt{S}} \right)^{0.433} \text{의 式이 誘導되었고 } r =$$

0.85로서 河川長, 河川重心長 및 河川傾斜와 의 相關性이 認定되었다.

14. 分析 方法別로 誘導된 瞬間單位圖를 2時間單位圖로 變換시킨後 代表單位圖의 尖頭流量과 比較分析한 結果 線形模型에 依한 瞬間單位圖는 2.5%의 誤差로서 比較的 좋은 結果를 가져온 反面 洪水追跡에 依한 瞬間單位圖는 16.9%로서 多少 높은 誤差를 가져왔다.

이로서 小流域에 對한 瞬間單位圖의 追跡은 洪水追跡方式 보다는 線形模型의 採擇이 훨씬 좋은 結果를 가져왔다는 事實을 立證할수있다.

謝 辭

本 研究를 遂行함에 있어 始終 指導하여 주신 서울大學校 農科大學 教授 朴成宇 博士, 劉漢烈 博士 께 感謝드리우고 本 研究遂行에 있어 協助와 激勵을 주신 忠北大學 農工學科 諸教授, 서울大學校 農科大學 教授 高在君 博士, 鄭夏禹 博士와 慶北大學校 農科大學 教授 徐承德 博士에게 深甚한 謝意를 表하며 또한 分析用 資料와 協助를 아끼지 않으신 農業振興公社 設計部 洪鍾麟, 李碩雨 擔當과 榮山江 事業所의 鄭鍾壽 擔當 및 建設部 理水課 諸職員께 感謝드리고 電算處理와 繼續的인 激勵을 주신 農村振興廳 電算室과 農業土木科 諸職員께 衷心으로 謝意를 表하는 바입니다.

引 用

1. Agricultural Research Service(1973): Linear Theory of Hydrologic Systems, U.S. Dept. of Agri., Tech. Bull., No. 1468, pp 75~125, 127~231.
2. Bayazit, M(1966): Instantaneous Unit Hydrograph Derivation by Spectral Analysis and Its Numerical Application, Symposium on Hydrology and Water Resources Development, Turkey pp. 127~143.
3. Blank D. and Delleur J.W. (1968): A Program for Estimating Runoff from Indiana Watersheds, Water Resources Research Center, Purdue Univ., Tech.Rep.No. 4, pp.67~123,
4. Butler, S.S. (1959): Engineering Hydrology, Prentice-Hall Inc. pp. 203~209,

文 獻

- 287~327.
5. Chow, V.T. (1968): Handbook of Applied Hydrology, pp. 9-18~48, 14-2~35, 21-24~54, 25-2~25-8, 25-35~25-45, McGraw Hill Book Co., N.Y.
6. Cordery, I. (1968): Synthetic Unitgraphs for Small Catchments in Eastern New South Wales, The Civil Eng. Trans. of I.E. Aust, Paper No. 2360, pp. 47~58.
7. _____ (1970): Initial Loss for Flood Estimation and Forecasting, Jour. of Hyd. Div., Proc. of the ASCE, pp. 2447~2465.
8. _____ (1971): Estimation of Design Hydrographs for Small Rural Catchments, Jour. of Hydrology, 13, pp. 266~271.

9. _____ and Webb, S.E. (1973): Flood Estimation in Eastern N.S.W., I.E. Aust. Symposium Paper, pp. 127~134.
10. Corps of Engineers of U.S. Army (1959): Flood Hydrograph Analyses and Computations, Manuals, EM 1110-2-1405, pp. 7~17.
11. 崔榮博(1972): 洛東江水系의 地形因子와 比流量에 關한 研究, 大韓土木學會 創立 20周年 紀念 論文集 pp. 137~139.
12. _____外(1973): 水文學 河川工學 I. pp. 297~311, 323~333, 螢雪出版社
13. 최희찬外(1975): 應用數學, pp. 323~330, pp. 574~579. 翰信文化社
14. Diskin, M.H. (1964): A Basic Study of the Linearity of the Rainfall-Runoff Process in Watersheds, Dissertation for the Ph.D. Univ., of Illinois, pp. 1~45.
15. _____(1969): Evaluation of Segmented I.U.H from Derivatives, Jour. of Hyd. Div. ASCE. Vol. 95, No. Hy 1, Proc. Paper 6359 pp. 329~345.
16. Dooge, J.C.I (1959): A General Theory of the Unit Hydrograph, Jour. of Geophysical Research, Vol. 64, No. 2, pp. 241~259.
17. _____(1965): Analysis of Linear Systems by means of Laguerre Functions, Jour. of SIAM Control Service, Vol 2 No. 3, pp. 396~408.
18. Eaton, T.D. (1954). The Derivation and Synthesis of the Unit Hydrograph When Rainfall Records are Inadequate, Symposium Paper 1163, pp. 61~68 IE, of Aust.
19. Fekete, P. H. (1973): Development of Unit Hydrographs under Australian Conditions, Symposium paper IEA pp. 56~60.
20. Ford, P. M. (1959): Multiple Correlation in Forecasting Seasonal Runoff, U.S. Dept. of I.B.R. Eng., Monograph No. 2, pp. 3~23.
21. Gray D.M. (1962): Derivation of Hydrographs for Small Watersheds from Measurable Physical Characteristics, Agricultural and Home Economics, Experiment station of Iowa State Univ., Res. Bull. 506, pp. 523~526.
22. Grace, R.A. and Eagleson, P.S. (1966): The Modeling of overland Flow, Jour. of W.R.R. Vol. 2 No. 3, pp. 393~403.
23. 건설부(1967~1969): 韓國의 洪水, pp. 43~89.
24. _____ (1972): 錦江流域 調査事業報告書, pp. 3~8.
25. _____ (1973): 韓國의 洪水, pp. 9~105.
26. _____ (1973): I.H.D 代表試驗流域(경안천, 무심천) 調査 報告書, pp. 1~36, 122~138.
27. _____ (1974): I.H.D 代表試驗流域(경안천, 무심천, 신천) 調査 報告書 pp. 9~78, 171~208.
28. _____ (1973~1975): 韓國水文調査年報,
29. _____, 産業基地開發公社(1974): 韓國 河川調査書, pp. 17~56, 80~84, 97~158, 367~393.
30. _____ (1974): 洪水量 推定을 爲한 合成單位流量圖 誘導의 研究調査報告書, pp. 3~26, 135~210.
31. Hanson, T.L. and Others (1964): Unit hydrograph Methods Compared, Trans. of ASAE. Vol. 7 No. 4.
32. 本間仁 (1950): 流量計算法, pp. 247~275. 實教出版株式會社
33. _____ (1971): 河川工學, pp. 68~84, 91~107. 코로나社
34. _____ (1974): 次元解析 最小2乘法と 實驗式, pp. 115~143. 코로나社
35. Holtan, H.N. and Others: Analyses and Application of Simple Hydrographs, Jour. of Hydrology, Vol. 1 No. 3, pp. 250~264.
36. Hydrology Committee of the Hyd. Div. (1957): Hydrology Handbook, ASCE-Manuals of Engineering Practice, No. 28, pp. 65~117.
37. Ishihara, T. and Kanamaru, A (1958): On the Application of the Unit Hydrograph Method to Runoff Analysis for Rivers in Japan, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ., Bulletin, No. 11, pp. 5~20.
38. Institute of Engineers (1958): Australian Rainfall and Runoff. First Report of the Storm Water Standards Committee, Aust. pp. 12~27.
39. 中央觀象臺 (1973~1975): 氣象月報, 1973. 4~8, 1974. 4~10, 1975. 4~9.
40. 金子良(1957): 農業水文學, pp. 60~102. 土木雜誌社
41. _____外 (1960): 小流域における流出機構の研究, 農業技術研究報告書, F12, pp. 292~343.
42. 角屋睦(1959): 水文量の Plotting positionについて, 京都市防災研究所年報 第3號, pp. 1~13.
43. _____ (1961): 雨量分布と その 年最大値の

- 分布, 京都大 防災研究所年報, 第4號, pp.122~126.
44. _____ (1967) : A Stochastic Consideration on Variation of Hydrologic Quantities, International Hydrology Symposium, Fort Collins, pp. 337~343.
45. 金熙鍾(1964) : 南江 篤山地點 流量曲線에 對 於考察, 大韓土木學會誌, 第12卷 3號, pp.1~9.
46. _____ (1972) : 韓國河川の 流出에 關한 研究 (洛東江 流域을 中心으로) 大韓土木學會創立 20 周年 記念論文集, pp.156~163.
47. 川畑幸夫(1961) : 水文氣象學, pp.57~79, 178~243. 地人書館
48. 川上謙太郎(1961) : 河川洪水のピーク流量に關する研究, 宮崎大學 工學博士 學位論文, pp.143~196.
49. 金丸昭治(1961) : 日本國 河川の 單位圖と その 總合化に關する 水文學的研究, 京大工學博士學位 論文, pp.24~46, 73~92, 94~113.
50. Larson, C.L (1965) : Two-Phase Approach to prediction of peak rates and Frequencies of Runoff for Small Ungaged Watersheds, Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy, Stanford Univ., pp.23~36, 56~69.
51. _____ and others (1969) : Time Parameters and Critical duration for Small Watersheds, Paper No.66~725, ASAE Meeting pp.1~18.
52. Laurenson E.M. (1958) : Synthetic Unitgraphs Hydrology Notes, pp.1~13, 18~27. N.S.W. Univ., of Tech. School of Civil Eng.
53. _____ and Yevdjovich V.M. (1963) : Research Data Assembly For Small Watershed Flood, pp.3~22, E.R.C. Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado.
54. Linsley, R.K. and Others (1949) : Applied Hydrology, pp.405~464, International Student Edition.
55. _____ (1958) : Hydrology for Engineers, pp. 193~243. McGraw Hill Book Co., Inc.
56. _____ (1967) : The Relation between Rainfall and Runoff (Review Paper) Jour. of Hydrology 5, pp.297~309.
57. _____ and Others(1972) : Water-Resources Engineering, Second Ed. pp.43~81. McGraw Hill Book Co.
58. 李淳赫外 (1973) : 新制 水文學, pp.66~75, 142~169. 郷文社
59. 李基明外(1970) : 小流域의 水文調査 및 分析, 農村振興廳 農工利用研究報告書, pp.35~46.
60. Lovett, N.B. (1973) : The Estimation of Maximum Possible Precipitation, Symposium Paper, I.E.A pp.39~43.
61. Meinzer, O.E.(1942) : Hydrology, pp.514~524. Dover publication Inc.
62. Melvin, S.W. and Others (1971) : Predicting Surface Runoff from Agricultural Watersheds. Trans. of ASAE Vol.14 No.3, pp.505~510.
63. 丸山利輔, 富士岡義(1973) : 重みつき 最小二乘法による 單位圖決定の基本的 考元方と その 方法(I), 日本 農業土木學會論文集, 第43號, pp. 33~38.
64. _____ (1973) : 重みつき 最小二乗法 による 單位圖法の 試驗流域への 適用(II), 日本 農業土木學會論文集, 第43號, pp.34~45.
65. 農業土木研究所 (1964) : 單位流量圖法, 技術覽書, 第41號, pp.24~83.
66. _____ (1964) : 小流域의 洪水量 推定法, 技術覽書, 第35號, pp.76~129.
67. 農林部 土地改良組合聯合會(1967) : 清州地區水文調査 報告書, pp.7~10.
68. 農業土木學會(1963) : 農業土木 핸드ブック, pp.82~89, 丸善株式會社.
69. Nash, J.E. (1956) : Frequency of Discharge from Ungaged Catchments, Trans. of Ame. Geop. Union, Vol.37 No.6, pp.719~725.
70. _____ (1957) : The Form of the Instantaneous Unit Hydrograph, pp.114~121, Hyd. Res. Station, England.
71. _____ (1958) : Determining Runoff from Rainfall, Ins. of C.E., Vol.10 paper No.6282, pp.165~183.
72. _____ (1959) : A Note on the Muskingum Flood-routing method, Jour. of Geop. Res. Vol. 64 No. 8, pp.1053~1055,
73. _____ (1959) : Systematic Determination of Unit Hydrograph Parameters, Jour. of Geop. Res. Vol.64 No.1, pp.111~115.
74. _____ (1961) : A Linear Transformation of a discharge Record, IAHR, 9th Convention, Belgrade, pp. 1/13-1~ 1/13~2.

75. _____ and Amoroch, J (1966) : The Accuracy of the Prediction of Floods of High Return Period, Water Resources Research, Vol.2 No.2, pp.191~198.
76. _____ (1967) : The Role of Parametric Hydrology, Jour. of Institution of Water Engineers, Vol.21, pp.445~453.
77. _____ (1970) : River Flow forecasting through conceptual Models, Jour. of Hydrology 10, pp.282~290.
78. 中安米藏(1953) : 本邦河川洪水のUnitgraphについて pp.1~20, 綜合印刷出版株式會社
79. _____ (1972) : 治水計劃における 洪水流量について, pp.57~112, 綜合印刷出版株式會社
80. 農業振興公社(1973) : 受水量公式補充示範事業報告書 pp.7~50, 83~186.
81. _____ (1974) : 受水量公式補充示範事業報告書 pp.13~26, 45~44, 77~155.
82. _____ (1975) : 受水量公式補充示範事業報告書 pp.26~118, 131~155.
83. Newton, D.W. and Vinyard, J.W. (1967) : Computer determined Unit Hydrograph from Floods, Jour. of Hyd. Div. Vol.93 No. HY5, Proc. Paper 5449, pp.219~235.
84. O'Donnel T. (1960) : Instantaneous Unit Hydrograph Derivation by Harmonic Analysis, Pub. No.51, International Association of Sci. Hyd. pp.546~557.
85. _____ (1966) : Methods of Computation in Hydrograph Analysis and Synthesis Committee for Hydrological Research, TNO 13, Proceeding of Tech. Meeting 21, pp.65~102.
86. Prasad, R. (1967) : A Nonlinear Hydrologic System Response Model, Jour. of Hyd. Div. ASCE, Vol.93 No. HY4, Proc. Paper 5350, pp.201~218.
87. 朴成宇(1966) : 韓國에 있어서 降水 및 流出, 洪水, 旱魃에 關한 水文學의 研究, 서울대 농학박사 학위논문 第2部, pp.4~19.
88. _____ (1966) : 韓國에 있어서 諸水文構造物設計의 基準을 주기爲한 水文學의 研究, 韓國農工學會誌 第3號, pp.75~81.
89. _____ (1968) : 韓國河川의 流況에 關한 研究, 韓國農工學會誌 第5號, pp.77~87.
90. _____ (1974) : 河川의 流況에 關한 水文學의 研究, 韓國農工學會誌 第16卷 2號, pp.79~92.
91. Reich, B.M. and Others (1967) : Engineering Judgment and Small Area Flood Peaks, Hydrology Papers of Colorado State Univ., No.19. pp. 9~27.
92. _____ (1968) : Rapid Flood-Peak determination on Small Watersheds, Trans. of ASAE Vol.11 No.2, pp.291~295.
93. Snyder, F.F. (1938) : Synthetic Unit-Graphs, Tran. of Ame. Geophys. Union, Vol.19, pp. 447~452.
94. Schulz, E.F.(1970) : Theory and Experiment in the Prediction of Small Watershed Response, Office of Water Resources Research, Colorado, C.E.R 70~71 EFS30, pp.1~6.
95. Soil Conservation Service (1971) : Hydrology Section 4, pp.15-1~15-16. 16-1~16-25. U.S. Dept. of Agriculture
96. 徐承德(1966) : 流域特性과 流出追跡에 依한 單位圖 解釋에 關한 考察, 農業土學會誌 第8卷 第1號, pp.71~87.
97. _____ (1967) : 自然河川의 洪水追跡과 貯溜量解釋, 農業土木學會誌, 第9卷 第1號, pp.9~17.
98. _____ (1975) : 流域特性에 依한 合成單位圖의 誘導에 關한 研究, 韓國農工學會誌, 第17卷 第1號, pp.3~25.
99. _____ (1976) : 農業用水開發利用을 爲한 河川 流出의 分析의 研究, 慶北大 教育大學院 論文集, 第6,7輯 pp.171~178.
100. 上田年比古(1961) : 降雨流出に 關する 基礎的 研究, 九州大學 工學博士學位論文, pp.16~72, 134~165, 169~224.
101. Viessman, W.V. (1968) : Runoff Estimation of Water Resources Research. Vol.4, No.1, pp. 87~93.
102. Williams, J.R. (1973) : Storage Depletion Flood Routing Approach to Hydrograph Computation, Trans. of ASAE, Vol.16 No.1, pp. 82~84.
103. Wilson, E.M.(1969) : Engineering Hydrology, pp.95~152, Macmillan Book Co.
104. Wisler, C.O. and Brater E.F.(1959) : Hydrology, John Wiley & Sons Inc. pp.31~56, 230~260.
105. Wooding, R.A.(1966) : A Hydraulic Model

- for the Catchment Stream Problem, Jour. of Hydrdogy 4, pp.21~37.
106. 王如意(1972) : 瞬間單位洪水歷線的理論及其應用於臺灣主要河川洪水歷線分析, Proceeding of the National Science Council, No.5, pp.538~556.
107. Wu, I.P.(1967) : Hydrological Data and Peak discharge determination of Small Hawaiian Watersheds, Water Resources Research Center, U.O.H., Tech. Report No.15, pp.35~66.
108. _____ and Others (1970) : Characteristics of Short Duration Unit Hydrograph, Trans. of ASAE, Vol.15 No.3, pp.452~456.
109. _____ (1971) : Overland Flow Hydrograph Analysis to determine Infiltration Function, Trans. of ASAE, Vol.14 No.2, pp.294~300.
110. 尹龍男(1974) : 水文學, pp. 32~38, 189~274, 理工產業社
111. _____, 鮮于 仲皓(1975) : 流域特性斗 流出特性間의 相關關係 解析에 依한 單位流量圖의 合成, 韓國水文學會誌, 第8卷 第1號 pp.61~77.
112. Yevdjovich, V.M. (1967) : Research Data Assembly for Small Watershed Floods, Part II, Colorado Univ., Experiment Station, CER 67~68-13 pp.1~50.