

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 (I)

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

李 淳 赫
Soon Hyuk Lee

Summary

This study was conducted to derive an Instantaneous Unit Hydrograph for the accurate and reliable unitgraph which can be used to the estimation and control of flood for the development of agricultural water resources and rational design of hydraulic structures. Eight small watersheds were selected as studying basins from Han, Geum, Nakdong, Yeongsan and Incheon River systems which may be considered as a main river systems in Korea.

The area of small watersheds are within the range of 85 to 470km². It is to derive an accurate Instantaneous Unit Hydrograph under the condition of having a short duration of heavy rain and uniform rainfall intensity with the basic and reliable data of rainfall records, pluviographs, records of river stages and of the main river systems mentioned above. Investigation was carried out for the relations between measurable unitgraph and watershed characteristics such as watershed area, A , river length L , and centroid distance of the watershed area, L_{ca} . Especially, this study laid emphasis on the derivation and application of Instantaneous Unit Hydrograph (IUH) by applying Nash's conceptual model and by using an electronic computer.

I U H by Nash's conceptual model and I U H by flood routing which can be applied to the ungaged small watersheds were derived and compared with each other to the observed unitgraph. I U H for each small watersheds can be solved by using an electronic computer. The results summarized for these studies are as follows;

1. Distribution of uniform rainfall intensity appears in the analysis for the temporal rainfall pattern of selected heavy rainfall event.
2. Mean value of recession constants, K_1 , is 0.931 in all watersheds observed.

3. Time to peak discharge, T_p , occurs at the position of $0.02 T_b$, base length of hydrograph with an indication of lower value than that in larger watersheds.
4. Peak discharge, Q_p , in relation to the watershed area, A , and effective rainfall, R , is found to be $Q_p = \frac{0.895}{A^{0.145}} AR$ having high significance of correlation coefficient, 0.927, between peak discharge, Q_p , and effective rainfall, R . Design chart for the peak discharge (refer to Fig. 15) with watershed area and effective rainfall was established by the author.
5. The mean slopes of main streams within the range of 1.46 meters per kilometer to 13.6 meter per kilometer. These indicate higher slopes in the small watersheds than those in larger watersheds. Lengths of main streams are within the range of 9.4 kilometer to 41.75 kilometer, which can be regarded as a short distance. It is remarkable thing that the time of flood concentration was more rapid in the small watersheds than that in the other larger watersheds.
6. Length of main stream, L , in relation to the watershed area, A , is found to be $L = 2.044A^{0.48}$ having a high significance of correlation coefficient, 0.968.
7. Watershed lag, L_g , in hrs in relation to the watershed area, A , and length of main stream, L , was derived as $L_g = 3.228 A^{0.004} L^{-1.203}$ with a high significance. On the other hand, it was found that watershed lag, L_g , could also be expressed as $L_g = 0.247 \left(\frac{LLca}{\sqrt{S}} \right)^{0.804}$ in connection with the product of main stream length and the centroid length of the basin of the watershed area, $LLca$ which could be expressed as a measure of the shape and the size of the watershed with the slopes except watershed area, A . But the latter showed a lower correlation than that of the former in the significance test. Therefore, it can be concluded that watershed lag, L_g , is more closely related with the such watersheds characteristics as watershed area and length of main stream in the small watersheds. Empirical formula for the peak discharge per unit area, q_p , $m_3/sec/km^2$, was derived as $q_p = 10^{-0.389 - 0.0424L_g}$ with a high significance, $r = 0.91$. This indicates that the peak discharge per unit area of the unitgraph is in inverse proportion to the watershed lag time.
8. The base length of the unitgraph, T_b , in connection with the watershed lag, L_g , was expressed as $T_b = 1.14 + 0.564 \left(\frac{L_g}{24} \right)$ which has defined with a high significance.
9. For the derivation of IUH by applying linear conceptual model, the storage constant, K , with the length of main stream, L , and slopes, S , was adopted as $K = 0.1197 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)$ with a highly significant correlation coefficient, 0.90. Gamma function argument, N , derived with such watershed characteristics as watershed area, A , river length, L , centroid distance of the basin of the watershed area, Lca , and slopes, S , was found to be $N = 49.2 A^{1.461} L^{-2.202} Lca^{-1.297} S^{-0.113}$ with a high significance having the F value, 4.83, through analysis of variance.
10. According to the linear conceptual model, Formular established in relation to

the time distribution, Peak discharge and time to peak discharge for Instantaneous Unit Hydrograph when unit effective rainfall of unitgraph and dimension of watershed area are applied as 10mm, and km² respectively are as follows;

Time distribution of IUH

$$u(0,t) = \frac{2.78A}{K\Gamma(N)} e^{-t'/K} (t/K)^{N-1} \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

Peak discharge of IUH

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

Time to peak discharge of IUH

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

11. Through mathematical analysis in the recession curve of Hydrograph, It was confirmed that empirical formula of Gamma function argument, N, had connection with recession constant, K₁, peak discharge, Q_p, and time to peak discharge, t_p,

$$\text{as } \frac{K'}{t_p} = \frac{1}{N-1} - \frac{\ln \frac{t}{t_p}}{\ln \frac{Q}{Q_p}} \quad \text{where } K' = \frac{1}{\ln K_1}$$

12. Linking the two, empirical formulars for storage constant, K, and Gamma function argument, N, into closer relations with each other, derivation of unit hydrograph for the ungaged small watersheds can be established by having formulars for the time distribution and peak discharge of IUH as follows.

Time distribution of IUH

$$u(0,t) = 23.2 A L^{-1} S^{1/2} F(N,K,t) \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

$$\text{where } F(N,K,t) = \frac{e^{-t'/K} (t/K)^{N-1}}{\Gamma(N)}$$

Peak discharge of IUH

$$u(0,t)_{max} = 23.2 A L^{-1} S^{1/2} F(N) \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

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

13. The base length of the Time-Area Diagram for the IUH was given by C=

$$0.778 \left(\frac{LLca}{\sqrt{S}} \right)^{0.423} \quad \text{with correlation coefficient, 0.85, which has an indication of the relations to the length of main stream, L, centroid distance of the basin of the watershed area, Lca, and slopes, S.}$$

14. Relative errors in the peak discharge of the IUH by using linear conceptual model and IUH by routing showed to be 2.5 and 16.9 percent respectively to the peak of observed unitgraph. Therefore, it confirmed that the accuracy of IUH using linear conceptual model was approaching more closely to the observed unitgraph than that of the flood routing in the small watersheds.

1. 緒 言

우리나라는 국토의 68%가山地인데다가 地勢가 一般적으로急峻하고 上流水源地帶의 林相의 荒廢로

短時間의 集中豪雨 일 때는 表土의 浸蝕이 甚하고 洪水到達時間이 매우 짧은 것이 特徵的이며 또한 氣象特性은 三面이 바다로 둘러싸인 條件으로 因해서 大陸性 氣候와 海洋性 氣候의 交叉로 여름철 雨期인 6, 7, 8월에 過期的으로 오는 颱風 同伴의 集中豪雨로

말미암아 過去 43年間に 걸친 年平均洪水被害는 耕地의 土壤流失과 地力消耗는 勿論 死亡者 235名, 被害額 99億 6千萬원이라는 莫大한 損失을 가져오고 있는 實情에 놓여있다. 우리나라가 받고 있는 3大 災害인 水害, 風害, 旱害中에서 가장 큰 問題로 대두되고 있는 것이 역시 洪水被害이다. 反面 우리나라 水資源 賦存量과 그 利用現況을 보건대 年平均降雨量 1,159mm로서 約 1140億 m^3 에 達하는 比較的 豊富한 水資源을 가지고 있으나 年平均 510億 m^3 의 蒸發散에 依한 損失이 있고 河川流下量은 630億 m^3 이라고 하나 前記한 우리나라의 地形的, 氣象的 條件으로 因해서 其中 71.4%에 該當하는 450億 m^3 이 洪水로 流出되고 平常時 流出量은 28.6%에 該當하는 180億 m^3 에 이르며 實際的인 利用水量은 89億 m^3 (13.8%)에 不過한 實情이다. 近年 우리나라의 發展하는 經濟開發과 文明의 發達は 生活用水는 勿論 工業化를 爲한 工業用水, 農業의 近代化를 爲한 農業用水의 急增하는 需要에 對處해야만 하는 緊急한 轉換點에 處해 있음이 事實이며 이러한 產業發展에 原動力이 될 수 있는 水資源確保를 如何히 開發해 나가야 할 것인가 하는 것은 棘이나 重且大한 使命이 아닐 수 없다. 特히 우리나라와 같이 主產業인 農業生產을 爲한 水資源의 確保는 重要한 것이며 또 近來 우리나라에서는 土地의 高度 利用과 食糧增產 및 營農의 近代化를 爲하여 大單位 農業用水 開發計劃과 安定性 있고 보다 合理的인 水利構造物의 設計 및 施工이 重要한 課題로 登場하고 있다. 그러나 이러한 用水源施設은 洪水量, 喝水量, 集水量, 計劃排水量等의 水文學的인 處理가 正確하게 先行되어야만 可能케 되는 것은 常識的인 일이다. 그러나 우리나라는 아직까지도 이들 水文設計에 必要한 諸般公式들을 外國의 公式를 多少 修正 補充하여 쓰는 境遇도 있으나 거개는 그대로 받아들여 쓰고 있는 것이 많아 氣候的으로나 地形的으로 相異한 우리나라의 狀況에 비추어 볼때 커다란 모순을 안고 있는 實情이다. 國內에서는 梶山氏⁽¹²⁾가 1922년에 發表한 韓國 12個河川에서의 資料에 依하여 誘導한 最大洪水量 公式이 있지만 近代 發達된 水文學的 理論에 비추어 볼때 使用不可 하다는 것은 朴⁽¹³⁾ ⁽¹⁴⁾에 依해 發表된 바 있다. 水文 諸現象의 各個 獨立의이고 우리나라의 氣候的 地理的 興件에 附合되는 洪水量의 推定을 爲해서는 單位流量圖의 誘導 및 適用이 時急함을 느끼던中 多幸히도 近來에 尹, 鮮于⁽¹⁵⁾ 徐⁽¹⁶⁾等에 依하여 漢江, 錦江, 洛東江에 對한 綜合 單位圖를 誘導하여 3大江 綜合開發의 實務에 利用케 한 것은 큰 成

果라 아니할 수 없다. 一般的으로 小流域에서의 降雨流出의 關係는 그 水文學的 反應이 銳敏하며 流域의 不變因子의 影響을 많이 받고 있는 것은 事實이다. 最近 우리나라에서의 中, 大形의 流域에 對한 水文曲線의 Model은 前記한 尹, 鮮于⁽¹⁵⁾ 徐⁽¹⁶⁾等에 依하여 實用的인 것을 誘導한 바 있으나 小流域에서의 瞬間單位圖에 關한 Model은 本研究가 처음 試圖하는 바이다.

원래 本研究와 같은 水文學的 基礎的인 研究·및 應用은 使用資料의 缺如 乃至는 不充分으로 因한 困難이 많으나 多幸히도 筆者가 研究分析 하고자 하는 小流域에서의 瞬間單位流量圖의 誘導를 爲한 基本資料로서 降雨流出의 自記記錄과 流出測定이 農業振興公社의 農地改良 1142~1484에 의거 4個年間に 걸친 漢江, 錦江, 洛東江, 榮山江 水文資料와 農業振興公社 榮山江 事業所에서의 仁川江水系의 時間別降雨量과 水位 및 水位—流量曲線의 信빙성 있는 觀測資料를 得할 수 있었다.

本研究의 要旨는 韓國의 主要水系別 小流域을 對象으로 流域面積이 작고 짧은 豪雨에 降雨強度의 均等한 條件을 滿足시켜 주므로서 보다 正確한 單位圖의 誘導가 可能할 수 있는 瞬間單位流量圖를 誘導하고자 研究한 것이다. 이를 爲해서 Nash의 線形 Model의 導入 追跡을 試圖하였고 이의 適用 與否를 調查하였으며 無計測 小流域에서의 利用을 可能케 하고 또한 實測流量圖에 依한 代表單位圖 및 流域特性에 따른 洪水追跡에 依한 結果와 比較分析을 遂行하였기에 그結果를 여기에 一括整理하여 報告하는 바이다.

II. 研究史

單位流量圖法(Unit hydrograph method)이 提唱된 以後 이 方法에 依해서 任意 豪雨로 因한 流域出口에서의 總流出水文曲線의 획득이 可能케 되므로서 河川流量의 推定과 洪水豫報는 勿論 洪水調節等 各種 水資源開發計劃을 爲해 有効하게 使用할 수 있어 水文諸量의 分析에 있어서 重要한 位置를 占하게 되었다. 單位流量圖는 V.T.Chow⁽¹⁷⁾에 依하면 1929年에 J.A. Folse氏가 降雨와 流出의 關係에서 基底流出의 分離, 浸透 損失에 依한 表面流出의 減少 等의 概念을 發表한 것을 始發로 해서 2年後인 1931年에 Boston 土木學會⁽¹⁸⁾ ⁽¹⁹⁾ ⁽²⁰⁾에서 現在의 單位流量圖 理論의 根底가 되는 洪水流出水文曲線의 基底長은 다른 洪水에나 거의 一定하게 나타나며 또한 尖頭

流出量은 流出量의 總容積에 比例하여 變한다 라는 要旨의 發表가 있었다. 그뒤 1年後에 L.K. Sherman^{(8) (12) (14) (88)}에 의해 特定單位時間에 均一한 降雨強度로 流域全體에 均一하게 내린 單位有效雨量 (Unit effective rainfall)으로 因해 發生하는 流出曲線이라는 單位流量圖(Unit hydrograph originally Unitgraph)의 定義와 3가지 基本 假定을 力說 하였다. 其後 M. Bernard^{(9) (12) (93) (110)}가 單位圖의 基底 時間을 여러個의 等區間으로 나눈後 各區間에 있어서의 流出 容積을 總流出容積의 百分率로 表示 하는 柱狀圖를 말하는 單位流量分布圖法을 考案 하였고 R. Morgan과 D.W. Hulinghors^{(9) (11) (14)}는 單位圖의 一種의 累加曲線인 S曲線 (S-hydrograph)을 提唱하여 單位의 單位時間 變換을 可能케 하였다. 이들 研究의 大部分은 單位流量圖 理論에 內包된 線形의 基本假定을 採擇하였고 또한 單位流量圖 理論의 利用과 實際의 應用面에서 研究가 進行되어왔다. Sherman氏가 單位流量圖를 提唱한지 30年後에 發表된 單位流量圖를 利用하는 水文學的인 研究는 特殊한 形態의 流域에 Unit Hydrograph를 適用해본 試驗, 降雨와 流出記錄 으로부터 單位流量圖를 誘導하는 方法의 模索, 一定한 變動 들에 따라 나타나는 單位流量圖의 形狀에 關한 追求, 流域 特性에 따른 單位流量圖 變動들 間의 相關 關係, 그리고 終局的 으로는 無計測 流域에도 使用可能한 綜合單位圖의 追求에 關한 研究들로 分類할수 있다. 이에 關한 研究들의 綜合的인 考察이 K.P. Singh^{(8) (14)}에 의해 分析되었으며 單位流量圖 理論의 發展에 關한 考察 分析이 J.C.I. Dooge^{(16) (17)}에 의한 單位流量圖의 一般的인 流量과 D.N. Body^{(1) (14)}의 洪水 推定에 關한 報告와 D.M. Gray⁽¹¹⁾의 流域特性에 따른 小流域에서의 流量圖의 誘導 그리고 J. Amorocho와 T. Orlob^{(9) (14) (75)}의 水文系統의 非線型 分析, 또한 B.M. Reich^{(9) (92)}의 小流域에 있어서의 設計水文曲線의 誘導및 比較가 遂行되었다. 이와같은 單位流量圖 理論에 關聯된 各種 研究들에 對한 記述이 V.T. Chow⁽⁶⁾에 의해 報告되었다. G.T. McCarthy^{(8) (12) (14) (82) (84) (110)}와 F.F. Snyder^{(1) (8) (12) (84) (88) (95) (98) (108)}는 同年에 流域特性值들에 關聯된 單位流量圖의 遲滯時間에 關해 研究하였고 W.D. Mitchell^{(8) (8) (14)}도 역시 單位流量圖의 遲滯時間에 關해 報告하였다. 또한 本研究의 核心이 되며 單位圖理論의 延長이라고 볼수 있는 瞬間單位流量圖 (Instantaneous Unit Hydrograph, I.U.H)는 流域에 瞬間的으로 單位有效雨量이 내릴때 流口를 지나는

流出量의 時間的 變化를 나타내는 水文曲線으로 瞬間單位流量圖의 特徵은 有效雨量의 持續時間이 거의 零에 가까운 假想的인 概念의 水文曲線으로 瞬間單位流量圖가 單位流量圖에 比해 主된 利點은 有效降雨의 持續期間에 對해서 獨立的으로서 流量圖解析에 있어 하나의 變數를 減하는 結果를 가져 오고 더우기 對象流域에 있어서 降雨와 流出關係에 對한 理論的 研究가 概念的 模型의 方法으로 보다더 잘 附應할 수 있는 長點을 가지고 있다. 理論的인 뒷받침이 될수있는 所期의 關係를 追求하고자 한 最初의 試圖가 一定期間의 降雨의 考慮와 複合流量柱狀圖로 因해 難關에 逢着하였다. 有效降雨持續時間이 回旋積分(Convolution Integral)에 의해 分析의 여질수 있을때만 限해서 瞬間的인 豪雨와 이에 依한 水文曲線의 利用이 可能하게 되는것이다.

그런데 瞬間單位流量圖의 誘導過程은 單位流量圖에 比해 計算이 너무 複雜하나 Computer의 利用으로서 짧은 時間에 이끌어낼수 있다. Boston 土木學會^{(8) (14) (88)}에 依해서 瞬間的인 豪雨로 因하여 誘發된 水文曲線은 當該 流域의 流域特性을 表示 할수 있다고 最初로 發表되었고 이 概念과 Sherman氏의 單位流量圖 概念을 組合해서 비로소 瞬間單位流量圖의 發展을 가져오게 된 것이다. 美國農務省⁽¹¹⁾에 依하면 R.T. Zoch는 降雨와 流出關係에 있어서 貯溜量 S는 貯溜常數 K와 單位流出量 q_p 의 積에 比例되는 線型 關係를 提示 하였다. 其後 H.M. Turner와 A.J. Burdoin^{(9) (14) (104)}의 流出水文曲線을 水文曲線의 減水曲線上的 해석에서 誘導된 線型 貯溜常數 K 值를 갖는 貯水池를 통한 時間-面積曲線의 追跡에 依해 誘導된다고 한 發表는 오늘날의 瞬間單位流量圖의 研究와 發展에 貢獻한바 크다. C.O. Clark^{(1) (8) (8) (82) (108) (110)}는 最初로 瞬間單位流量圖 理論을 發表 하였다. Mc Carthy에 依한 Muskingum法과 같은 洪水追跡方法(Flood Routing Method)에 根據를 두었고 Sherman氏에 依한 單位流量圖와 Boston 土木學會에서 發表한 순간적인 豪雨의 概念을 組合해서 瞬間單位流量圖의 理論을 定立하고 流域에 對한 時間-面積圖(Time-Area Concentration Diagram)와 時間-面積圖의 基底長 C, 그리고 貯溜常數 K로서 이의 誘導를 試圖하였다. 이와 類似한 試圖가 또한 Johnstone^{(1) (8) (82)}에 의해 遂行되었고 Edson^{(1) (108)}은 Zoch, Turner와 Burdoin 그리고 Clark의 研究에 基礎를 이룬 貯水池와 時間-面積分布圖를 組合해서 瞬間單位流量圖에 關한 2個의 媒介變數方程式을 誘導하였다. 또한 E.M. Laurenson⁽⁸²⁾은 時間-

面積圖의 基底長을 利用하여 流域의 等時流達時間 (Isochrone)을 求하였고 T.D.Eaton⁽¹³⁾은 時間-面積圖의 基底長 C 를 流域面積 및 河川長과 關聯시켜 誘導하였으며 J.J.O.Kelly⁽¹⁴⁾ (15) (16)는 貯水池를 통한 時間-面積圖의 追跡에 根據를 두고 2個의 媒介變數에 依한 模型(Model)을 提示했고 이어 J.C.I. Dooge⁽¹⁶⁾ (17)는 時間-面積圖(T.A.D)를 2等邊三角形形으로써 基底長 C 와 貯溜常數 K 를 變數로 瞬間單位圖를 分析 하였다. 以上에서 考察된 瞬間單位流量圖(I.U.H)에 對한 概念的 模型과 方程式들은 모두가 降雨의 實際의인 時間分布에 依해 影響되는 到達過程과 貯溜效果의 結果로서 流出過程을 代表하는 同一한 假定을 根據로 하고있다. 이들 모든方法들의 結果値는 必須의으로 時間-面積圖와 貯水池 減水曲線의 回旋에 依해 얻어지게 된다. J.E.Nash⁽¹⁸⁾ (19) (21) (22) (23) (24) (25) (26) (27)는 流域全體가 一聯의 n 個 貯水池로 되어있어 各 貯水池에 對한 貯溜와 流出과는 線形關係를 갖고 있다고 하였고 이어서 1958年, 1959年에 걸쳐 瞬間單位流量圖의 매개변수인 貯溜常數 K 와 Gamma函數 因子 N 의 값을 求하기爲 하여 모멘트法을 提唱하였다. 이러한 Nash의 개념적 모형 (Conceptual Model)은 J.C.I Dooge⁽¹⁶⁾에 依해 發表된 순간단위유량도의 一般의 理論에서 貯水池를 통해 追跡된 時間-面積分布圖의 模型과 結合되어진 것이다. 이어 O'Donell⁽²⁸⁾ (29)은 有效雨量柱狀圖와 流出水文曲線 및 瞬間單位圖의 이 둘 3個 調和系列에 依해 表示될 수 있는 調和分析方法으로 瞬間單位流量圖를 이끌어 냈고 V.T.Chow⁽³⁰⁾와 M.H.Diskin⁽³¹⁾에 依하면 Singh은 Dooge Model의 實際應用에 어려울을 解決키爲해 Dooge의 理論에 立脚해서 Wills Creek의 實測資料와 함께 研究를 遂行한바 媒介變數를 基底長 C 와 2個의 貯溜常數 K_1 , K_2 로 하고 K_1 은 0.25 hrs의 常數로 하는 模型을 이끌어 냈고 이어서 M.H.Diskin⁽³¹⁾ (32)는 平行하게 位置한 線形 貯水池의 2個의 支流로 構成되는 模型을 誘導하여 Laplace變換에 依據 瞬間單位圖의 方程式을 誘導하였고 Kulandaiswamy⁽³³⁾ (34) (35)는 降雨과 流出의 關係를 System Analysis에 依據 分析을 試圖하고 非線形貯水池에 對한 貯溜方程式을 誘導하였다. 한便 M.Bayazit⁽³⁶⁾은 瞬間單位流量圖의 概念模型을 Power Spectrum의 原理로 分析하였으며 이 分析方式은 Fourier Series로 變換시켜 電子計算機로 分析하였다. R.Prasad⁽³⁷⁾는 非線形 Model에 依據 Illinois주의 288평 방마일~959평 방마일의 流域面積을 가진 7個 流域에서 貯溜常數 K_1 , K_2 와 流域特

性值間의 關係와 尖頭到達時間의 關係式을 誘導하였고 이어 D.W.Newton과 J.W.Vinyard⁽³⁸⁾는 美國 Tennessee주와 North Carolina주에서 3~4個의 複合洪水로 부터 單位圖誘導가 可能함을 시사했다. 그리고 D.Blank와 J.W.Delleur⁽³⁹⁾은 瞬間單位流量圖의 縱距인 核函數 (Kernel Function)의 誘導方法으로서 Fourier 變換과 Laplace 變換等의 方法을 利用하고 이에 依한 美國 Indiana州의 55個 流域에 對한 適用을 試圖하였으며

R.Y.Wang과 I.P.Wu⁽⁴⁰⁾ (41)는 하와이의 29個 小流域에서 Nash의 線形模型에 依한 瞬間單位圖의 誘導가 小流域의 單位圖誘導에 適合함을 提唱하였고 또한 R.Y.Wang⁽⁴⁰⁾은 臺灣의 25個 主要 小流域에 對해서 Nash의 方法에 依據 瞬間單位流量圖의 誘導를 流域面積의 크기別로 遂行하였으며 瞬間單位圖 係數와 流域特性值인 面積, 河川長, 河川重心長, 傾斜와 의 複合關係를 誘導하였다.

以上에서 言及된바와 같이 概念模型의 數學的인 理論은 各各의 假定이 서로 같지 않으며 서로 다른 條件이 따름을 관찰할 수 있다. 韓國에서는 徐⁽⁴²⁾ (43)에 依해서 洛東江 一部流域에 對하여 Muskingum의 洪水追跡法에 依한 追跡係數와 Clark 方法의 組合으로 瞬間單位圖 誘導의 試圖가 있을 뿐이다. 韓國과 같이 아직 林相이 不良하고 山地 傾斜가 急하며 偏重된 集中 豪雨의 現象으로 나타나는 짧은 洪水到達時間을 갖은 與件으로서는 小流域을 對象으로 한 瞬間單位圖 分析에 依하여 單位流量圖를 이끌어 내기 바람직한 일로서 筆者는 深信성이 높고 새로운 Nash의 線形模型을 國內에서는 처음으로 도입하여 이의 理論을 추구하고 分析 및 應用에 임한바 그結果가 아주 優秀함을 實證할 수 있었다.

Ⅲ. 使用資料 및 分析

1. 使用 資料

1) 對象流域 및 河川概況

本分析에 使用된 對象流域은 韓國主要四大江인 漢江, 錦江, 洛東江, 榮山江 水系의 7個 小流域과 仁川江 水系의 1個 小流域을 對象으로 하였다.

첫째로 漢江水系는 北漢江, 南漢江 및 漢江本流로 區分되며 總流域面積은 26,200km²이다. 南韓部分만은 22,970km²로서 本分析對象流域은 南漢江 流域의 第一支川인 淸美川의 上流支川으로 梅山, 半月城, 長湖院의 3個 小流域으로 區分된다.

(그림-1 參照)

河川 傾斜는 梅山이 2.66m/km, 半月城이 1.82m/km., 長湖院 流域이 1.46m/km이며 地質構造는 流域東部의 多少의 堆積岩과 함께 花崗岩이 主를 이루고 있고 流域에 있어서의 氣溫은 最高氣溫이 夏季의 37°C에서 冬季의 最低氣溫 -20°C를 가리키며 相對濕度는 夏季에는 85~90% 程度로 높고 反面 冬季에는 50~60%로 낮은 便이다. 平均 降水量은 1200 mm 程度로 全國平均 1159mm 보다 多少 많은 便이며 이의 47~57% 정도가 夏季 3個月間에 集中降下되어 流況이 고르지 못한 實情으로 漢江 全體 流域의 水資源 總量은 304m³億으로서 이中 損失量이 112億m³이며 洪水流出量은 121億m³이고 平常時 流出量이 59億m³에 이른다. (12) (23) (26) (28) (30) (58)

둘째로 錦江水系는 車嶺山脈의 南部에 該當하는 地域으로 小白山脈의 高山의 하나인 德裕山에서 發

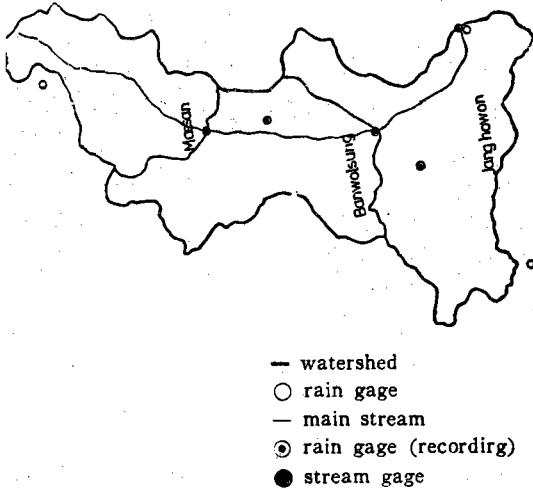


Fig. 1 Rainfall and Stream Observation Networks for Han River Basin

源하여 北流하다가 大田과 淸州사이를 南西流하고 群山에서 西海로 流入하는 本流延長 401km, 總流域面積 9,886km²로 本對象 流域은 錦江의 第一支川인 美湖川의 第2支川으로서 無心川의 上流 高隱流域으로 流域面積 85.3km²의 小流域이다. (그림-2 參照).

本流域의 河川傾斜는 6.62m/km로 다소 높은 便이며 低變質變成岩의 地質構造를 갖고있고 本對象流域의 中下部인 淸州附近은 沖積地帶로 되어있다. 이 流域의 氣溫은 年中平均 26°C 分布를 보이며 相對 濕度는 年中 60~70% 程度이다. 年平均 降水量은 1230mm로서 多少 많은 降水量을 나타내고 있으

며 錦江全流域에서의 總水資源量은 140億m³으로서 이中 損失量이 70億m³, 洪水時 流出量 40億m³, 平常時 流出量은 30億m³에 이르고 있다. (23) (24) (29) (30) (37)

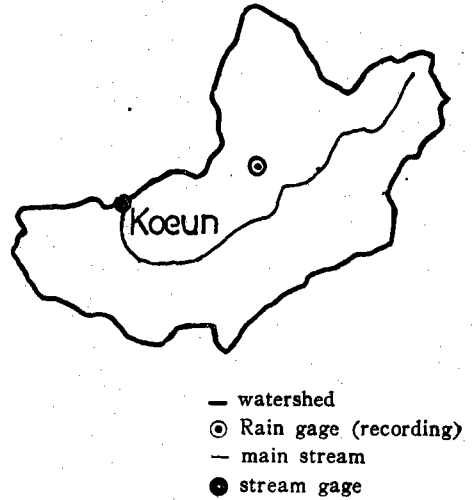


Fig. 2 Rainfall and Stream Observation place for Koeun Stream of Keum River Basin

셋째로 洛東江 水系는 西쪽으로는 小白山脈과 東쪽으로는 太白山脈으로 包圍되는 23,656km²의 流域面積과 512km의 流路延長을 갖고있으며 流域의 特徵은 가파른 山岳地와 平平한 溪谷으로 되어있다. 水系는 本流의 特徵이 가파른 山岳地와 平平한 溪谷으로 되어 있다. 水系는 本流를 中心으로 해서 南

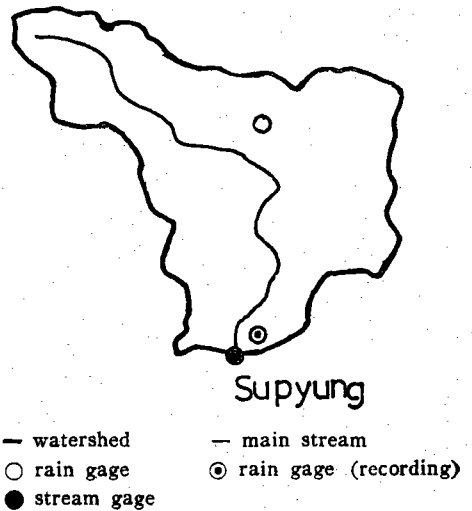


Fig. 3 Rainfall and Stream Observation Place for Supyung Stream of Nakdong River Basin

江, 黃江, 내성천, 감천 等の 支流로 區分되며 各 支川도 大體로 넓은 平野地를 形成하고 있다. 本研究 對象流域은 洛東江의 第一支川인 南江의 第2支川이 되는 琴川의 上流 水坪流域으로 流域面積이 84.3km²의 小流域이다. (그림-3 參照) 地質構造는 花崗岩과 酸性斑岩으로 이루어졌으며 河川傾斜는 13.59m/km로 比較的 가파른 傾斜를 보이고 있다. 氣溫은 夏季에 平均 28°C 程度이며 最低 氣溫은 冬季 -20°C內外를 가리키고 있고 相對濕度는 年 70% 內外이다. 또한 流域의 平均降水量은 1106mm로 全國 平均에 比較 多少下廻하는 便으로 洛東江 全流域의 水資源總量은 255億m³에 이르며 其中 損失量이 105億m³, 洪水 流出量이 85億m³, 平常時 流出量이 65億m³이다. ⁽²⁸⁾ ⁽²⁸⁾ ⁽²⁹⁾ ⁽³⁰⁾ ⁽³⁰⁾

셋째로 榮山江水系는 盧嶺山脈 西部支脈에 依하여 錦江流域과 東側으로 瞻津江流域과 境界를 이루고 있다. 全南潭陽郡의 新선대 附近인 合北과의 境界地點에서 發源하여 西海岸에 流入되는 流路延長 115.8km, 流域面積 2798km²의 河川으로서 本水系의 分析對象流域은 榮山江의 第一支川인 砥石川의 支川으로서 笠橋地區의 140.7km², 和順地區의 67.7km²의 小流域이다. (그림-4 參照)

對象流域의 河川傾斜는 笠橋地區가 6.09m/km, 和順地區가 6.85m/km로 多少 높은 便이며 流域의 氣溫은 最高氣溫 37°C 最低氣溫 -19.4°C를 나타내고 相對濕度는 65~70%를 보이고 있다. 流域의 平均降水量은 1285mm로 多少 많은 便이며 榮山江 全流域의 水資源總量은 36億m³으로서 其中 損失量이 18億m³, 洪水 流出量이 10億m³, 平常時 流出量이 8億m³

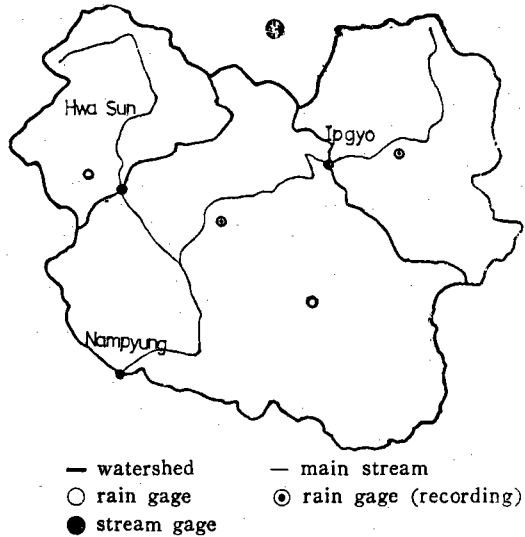


Fig. 4 Rainfall and Stream Observation Networks for Yung-san River Basin

이다. ⁽²⁸⁾ ⁽²⁸⁾ ⁽²⁹⁾

마지막으로 仁川江水系는 盧嶺山脈을 分水嶺으로 하여 全北 高敞郡 星松面에서 發源하여 西海로 流入되는 流域面積 205.6km²의 單獨河川이다. (그림-5 參照) 河川 平均傾斜는 2.16m/km이고 地質構造는 斑岩, 玢岩, 半花崗岩, 閃綠岩으로 構成되었으며 氣溫은 夏季 6, 7, 8월에 걸쳐 最高 28.2°C를 나타내고 冬季에는 最低 -5°C를 보이며 相對濕度는 年平均 74%를 가리킨다. 年平均降水量은 2162mm로 多少 높은 便이다. ⁽²⁸⁾ ⁽²⁸⁾ ⁽²⁸⁾ ⁽²⁹⁾

以上の 漢江, 錦江, 洛東江, 榮山江과 仁川江의 各流域別 流況은 우리나라 全域의 降水가 6, 7, 8月

Table 1. Watershed Physical Characteristics for Small Watersheds of each River System

River System	Sub Watershed	Area (km ²)	Length of main Stream (km)	Slope of Main Stream (m/km)	Average Basin width (km)	Shape Factor	Elevation	Shape	Relief Ratio
Han River	Maesan	112.0	19.98	2.66	5.7	0.29	80~260	Dentritic	9.0
	Banwolsung	266.5	31.25	1.82	8.5	0.27	70~260	Shape	6.1
	Janghowon	470.2	41.75	1.46	11.8	0.28	60~260	Fan Shape	4.8
Geum River	Koeun	85.3	17.65	6.22	4.8	0.27	60~230	Dentritic Shape	9.6
Yeongsan River	Ipgyo	140.7	19.30	6.09	7.3	0.38	60~360	Fan Shape	15.5
	Whasun	97.7	20.03	6.85	4.9	0.24	40~340	Dentritic Shape	15.0
Nakdong River	Supyung	84.3	19.40	13.59	4.4	0.23	220~800	Dentritic Shape	29.0
Inchon River	Kochang	205.6	22.70	2.16	9.1	0.40	10~150	Fan shape	4.0



watershed ⊙ rain gage (recording)
 — main stream ● stream gage
Fig. 5 Rainfall and Stream Observation place for Kochang Stream of Inchon River Basin

의 夏季에 集中 되는 理由로 거의 비슷하며 水文學의 으로 크게 差異點을 發見하기 힘들만큼 類似한 特性을 지니고 있음을 읽을수 있다. 本分析對象의 各 水系別 流域面積은 84.3km²~470.2km² 範圍內로서 新빙성있는 自記 降雨와 水位流量 資料가 갖추어진 小流域을 選拔하므로써 正確한 單位流量圖 誘導에 萬全을 期하였다. ⁽⁸⁰⁾⁽⁸¹⁾⁽⁸²⁾ (표-1 參照)

2) 降雨量, 水位 및 流量圖

各水系別 分析對象流域인 8個所에서의 降雨量資料는 農業振興公社所管의 5個所分과 建設部 所管의 8個所分 中央觀象臺 所管의 5個所分을 使用하였다.

⁽²⁸⁾⁽³⁰⁾⁽⁸⁰⁾⁽⁸²⁾ (표-2 參照)

또한 水位流量 觀測 資料는 各對象小流域別로 農業振興公社 設計部와 榮山江事業所에 依해 遂行된 自記水位 및 流量觀測資料에 依據하였다. ⁽⁸⁰⁾⁽⁸¹⁾⁽⁸²⁾

(표-3 參照)

Table 2. Stations for Rainfall Measurement

River System	Gauging Station	Location	Gage type	Control Authorities
Han River	Wonsam	Kodang Ri, Wonsam Myon, Yongin Gun, Gyeonggi Do	Non Recording	M O C
	Neungguk	Neungguk Ri, Iljuk Myon, Anseong Gun, Gyeonggi Do	Recording	A D C
	Saenggeuk	SinyanRi, Saenggeuk Myon, Eumseong Gun, Chung Buk	Recording	M O C
	Eumseong Janghowon	Eum seong Eup, Eumseong Gun, Chung Buk Janghowon Eup, Icheon Gun, Gyeonggi Do	Recording Non Recording	M O C M O C
Geum River	Koewn	Eunhang Ri, NamilMyon, Cheongwon Gun Chung Buk	Recording	A D C
Nakdong River	Dongro	Juksung Ri, Dong ro Myon, Mungyong Gun, Kyung Buk	Recording	M O C C M O
	Supyung	Supyung Ri, Dong ro Myon, Mungyung Gun, Kyung Buk	Recording	A D C
Yeongsan River	Ohryu	Ohryu Ri, Iyang Myon, Whasun Gun, Jeon Nam	Recording	A D C
	Doam	Won Chon Ri, Doam Myon Whasun Gun, Jeon Nam	Non Recording	M O C C M O
	Neungju	Seunggok Ri, Neung ju Myon, Whasun Gun, Jeon Nam	Recording	M O C C M O
	Whasun	Whasun Gun, Jeon Nam	Non Recording	C M O M O C
	Dongbuk	Doksan Ri, Dongbok Myon, Whasun Gun, Jeon Nam	Recording	C M O
Inchon River	Kochang	Kochang Eup, Kochang Gun, Jeon Buk	Recording	C M O
	Seuggok	Nam san Ri, A san Myon, Kochang Gun, Jeon Buk	Recording	A D C

Table 3. Stations for Water Stage Measurement

River System	Gauging Station	Watershed Area(km ²)	Gage Type	Control Authorities
Han River	Maesan	112.0	Recording	A D C
	Banwolsung	266.5	Recording	A D C
	Janghown	470.2	Recording	A D C
Geum River	Koeun	85.3	Recording	A D C
Yeongsan River	Ipyo	140.7	Recording	A D C
	Whasun	97.7	Recording	A D C
Nakdong River	Supyung	84.3	Recording	A D C
Inchon River	Kochang	205.6	Recording	A D C

分析用 流量圖의 選擇은 降雨와 流出의 時期的인 關係, 先行降雨의 影響, 複合降雨에 依한 流量圖에

의 影響등을 考慮하여 114個의 流量圖中 42個의 洪水流量圖를 最終的으로 選定하므로서 流量圖 分析의 正確을 期하였으며 水位-流量 關係曲線은 洪水에 依한 河床의 洗掘 乃至 堆積으로 多少 變하는 事實에 立脚하여 該當年度別 流量實測에 依據한 流量曲線의 調整使用을 試圖하였다. (附錄圖-1 參照)

3) 流域平均降雨量

各水系別 8個小流域에 對한 面積雨量 算定에 있어서 農業振興公社와 建設部 및 中央觀象臺에서의 雨量觀測 資料를 利用하여 表-4에서 보는바와 같이 Thissen 面積比를 이끌어 냈으며 但 流域面積이 작은 錦江 高隱地區는 該當流域에서의 雨量을 平均面積雨量으로 하여 分析하였고 仁川江 水系의 高敞地區는 高敞과 石谷地方의 新빙성있는 自記降雨記錄에 依據 算術平均法에 依한 方法으로 算定하였다. (5)(12)(56)

(58)(61)(74)

Table 4. Thiessen Areal Ratio for Average Rainfall over Area

River System	Sub Watershed	Area(km ²)	Observatory	Control Area (km ²)	Areal Ratio	Remarks
Han River	Maesan	112.0	Neungguk	26.3	0.235	
			Wonsam	85.7	0.765	
	Banwolsung	266.5	Neungguk	166.5	0.625	
			Wonsam	100.0	0.315	
			Neungguk	168.7	0.343	
			Wonsam	101.3	0.206	
Janghown	470.2	Janghown	60.0	0.122		
		Saenggeuk	132.8	0.270		
		Eumseong	29.0	0.059		
Geum River	Koeun	85.3	Koeun	85.3	1.000	
Yeongsan River	Whasun	97.7	Whasun	78.5	0.803	
			Dongbok	19.2	0.197	
Ipyo	140.7	Ohryu	140.7	1.000		
Nakdong River	Supyung	84.3	Dongro	65.8	0.780	
			Supyung	18.5	0.220	
Inchon River	Kochang	205.6	Kochang Seugguk			Arithmetic mean method

4) 豪雨의 時間分布圖

流出에 絶對的인 影響을 주는 豪雨의 時間의 分布 樣相을 觀察하기 爲하여 本分析에 使用된 豪雨들의 降雨期間에 따른 降雨量比인 無次元 降雨時間分布 圖를 作成한 結果 그림-6에서 보는바와 같이 降雨 強度에 따른 樣相을 읽을 수 있음에 비추어 이는 韓

國의 氣候의인 分布에 따른 豪雨事象이 各水系別로 거의 類似하게 나타남을 示顯함이며 이는 또한 韓國의 流域別 流況特性은 比較的 비슷하다는 水文學的인 判斷을 充分히 代辯하여 준다고 볼 수 있다.

(58)(67)(68)(90)

2. 實測值分析 및 考察

1) 基底流出量 및 直接流出的 分離

分析을 爲해 選定된 41個의 流量圖에서 基底流出과 直接流出을 正確히 分離하기 爲하여 다음과 같

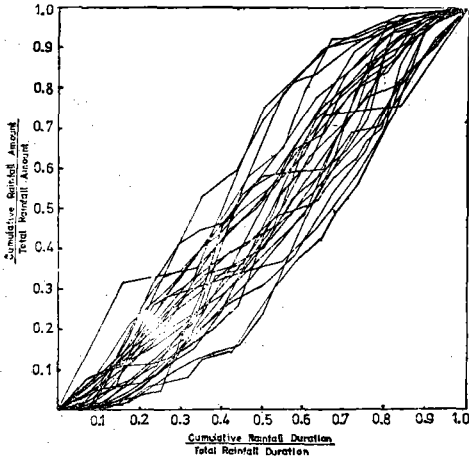


Fig. 6 Dimensionless Rainfall Temporal Pattern for all small watersheds

은 方法으로 하였다. 即 水文曲線의 減水部의 變曲點 以後의 流量을 $Q=Q_0 K_1^{t-t_0}$ 으로 나타내고 基底流出에서 的 減水定數(K_1)의 値는 流出機構의 差異로 다르다는 事實에 根據를 둔 瞬時變點法에 依據하여 分離하였다. (12)(40)(41)(42)(48)(55)(58)(62)(70)(90)(100)여 기에서 各水系別 8個小流域에서 的 41個 流量圖에 따른 減水定數 K_1 의 값은 表-5에서 보는바와 같이 漢江水系의 3個流域에서 的 平均減水定數는 0.946이고 錦江水系의 高隱 地區는 0.928, 洛東江 水系의 水坪地區는 0.932, 榮山江 水系의 2個流域에서 的 平均値는 0.912이며 仁川江 水系의 高敏流域은 0.939로서 全體水系에 따른 平均減水定數는 0.931로 各水

Table 5. Mean Recession Constant, K_1

River System	Watershed	Area (km ²)	K_1
Han River	Maesan	112.0	0.936
	Banwolsung	266.5	0.943
	Janghowon	470.2	0.958
Geum River	Kceun	85.3	0.928
Yeongsan River	Ipyo	140.7	0.906
	Whasun	97.7	0.907
Nakdong River	Supyung	84.3	0.932
Inchon River	Kochang	205.6	0.939

系別 流域들의 減水定數의 値가 거의 비슷한點으로 미루어 水文曲線의 減水部의 減水樣相이 類似함을 볼수 있다. (98)

2) 有効雨量 (Effective Rainfall)과 損失雨量 (Loss Rainfall)의 分離

本分析에 있어서는 初期損失과 그後의 損失雨量으로 나누어서 取扱하는 方法을 取하였고 有効雨量과 損失雨量의 分離는 여러가지 方法이 있으나 이들에 依한 結果値는 거의 近似한 點에 비추어 初期損失로서는 水文曲線의 上昇起點까지의 降雨量을 取하고 그後는 降雨強度에 關係없이 一定値의 損失雨量을 取하는 一定量損失雨量法에 依해서 分離하였다. (4)(7)(12)(46)(47)(55)(58)(108)(104)(110)

3) 實測 單位圖 誘導

實測單位圖의 誘導를 爲해서 水系別 8個小流域에 對한 Thiessen Polygon의 面積比와 算術平均法에 따른 流域平均累加雨量曲線, 雨量의 時間의 分布를 나타내는 雨量柱狀圖(Rainfall hyetograph), 流出量 및 單位圖의 誘導를 遂行하였다. (10)(12)(41)(55)(58)(108) (附錄表-1 參照) 이에 關한 漢江水系 半月城流域의 例가 表-6, 7 그리고 그림-7에 提示되었다.

Table 6. Cumulative Rainfall Event at Banwolsung

Hour	July 15 to 16, 1975	
	Hourly(mm)	Cumulative (mm)
1	4.2	4.2
2	0.6	4.8
3	1.8	6.6
4	1.8	8.4
5	9.7	18.1
6	10.3	28.4
7	5.9	34.3
8	4.1	38.4
Σ	38.4	

Table 7. Runoff Event at Banwolsung

Date	Hours after start	Total Flow (m ³ /sec)	Base Flow (m ³ /sec)	Direct Runoff (m ³ /sec)	Unitgraph ordinate (3-hrs)
July 16~17, 1975	1	8.0	8.0	0.0	0.0
	2	12.0	11.5	0.5	0.3
	3	13.5	12.0	1.5	0.9
	4	15.6	13.0	2.6	1.6
	5	21.4	14.0	7.4	4.5
	6	55.9	15.0	40.9	25.1

7	66.0	16.0	50.0	30.7
8	88.9	17.0	71.9	44.1
9	111.8	18.0	93.8	57.5
10	123.4	19.0	104.4	64.0
11	122.8	20.0	102.8	63.1
12	119.0	21.0	98.0	60.1
13	110.0	21.5	88.5	54.3
14	103.0	22.5	80.5	49.4
15	96.5	23.5	73.0	44.8
16	88.9	24.5	64.4	39.5
17	82.0	25.5	56.5	34.7
18	76.3	26.5	49.8	30.6
19	70.3	27.5	42.8	26.3
20	64.0	28.0	36.0	22.1
21	61.0	29.0	32.0	19.6
22	56.9	30.0	26.9	16.5
23	53.7	31.0	22.7	13.9
24	50.8	32.0	18.8	11.5
25	48.2	33.0	15.2	9.3
26	46.1	34.0	12.1	7.4
27	44.0	35.0	9.0	5.5
28	41.5	36.0	5.5	3.4
29	39.8	37.0	2.8	1.7
30	37.9	37.9	0.0	0.0

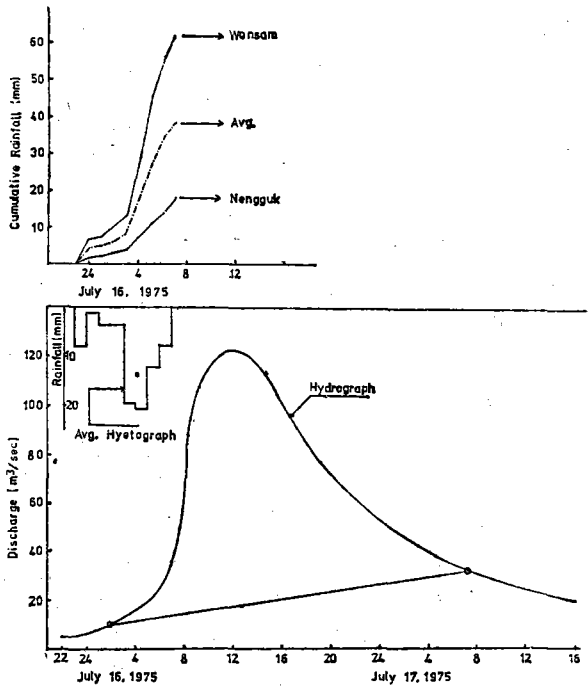


Fig. 7 Mass Curve of Rainfall, Avg. Hyetograph and Hydrograph at Banwolsung of Han River Basin

또한 이들全體流域에 對해서 綜合分析한 遲滯時間을 包含한 實測單位圖의 結果値는 表-8에 나타난바와 같다.

Table 8. Characteristics for Average Unitgraph (tr=2hrs)

River System	Watershed	Area(km ²)	Average Unitgraph			
			Qp(m ³ /s)	Tp(hrs)	Tb(hrs)	Lg(hrs)
Han River	Maesan	112.0	29.0	7.8	36.3	5.1
	Banwolsung	266.5	64.0	8.2	35.8	8.0
	Janghowon	470.2	107.0	10.2	38.6	9.3
Geum River	Koeun	85.3	25.7	5.8	24.8	3.8
Yeongsan River	Ipgyo	140.7	57.7	7.5	26.3	6.2
	Whasun	97.7	43.5	3.5	20.0	2.1
Nakdong River	Supyung	84.3	28.2	6.4	28.9	5.3
Inchon River	Kochang	205.6	50.7	8.2	31.8	7.5

4) 代表單位圖

各流域別 豪雨事象으로부터 誘導된 서로 다른 持續期間을 가진 單位圖에서 持續期間을 附錄表-2와 그림-8에서 보는 바와 같이 S-curve 方法에 依하여 2時間單位圖로 統一시킨後 同一流域에 對한 各單位

圖의 尖頭流量의 平均值와 尖頭流量 發生時間의 平均值를 求하여 代表單位圖의 尖頭 流量點의 座標를 求하였다. (5)(14)(54)(88)(88)(108)(110)

5) 無次元單位圖(Dimensionless Hydrograph)

分析된 單位圖에 對해서 5個 水系別 그리고 8個

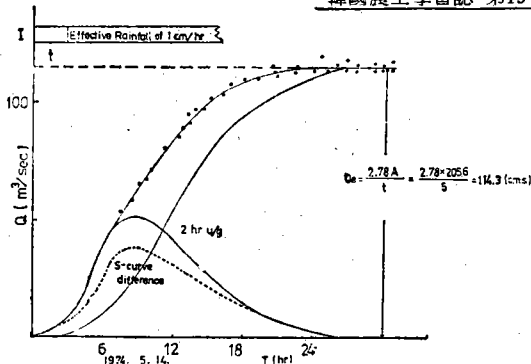


Fig. 8 Obtaining 2 hr unit hydrograph from S-Hydrograph at Kochang Stream of Incheon River

小流域別로 尖頭流量과 尖頭到達時間의 比인 無次元 單位圖의 座標를 設定하므로써 單位圖形狀의 作圖를 容易하게 하였다. (9)(86)(87)(87)(88)(10) (표-9, 그림-9 參照)

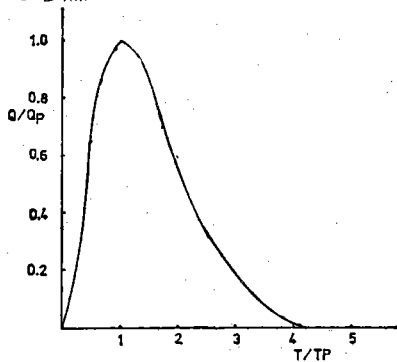


Fig. 9 Dimensionless Unit Hydrograph for Koeun Stream of Keum River basin

以上の 結果에서 流域面積이 85km²~470.2km²까지의 流域에 있어서 尖頭到達時間이 3.5時間~10.2時間으로 이에 對한 尖頭流量은 20m³/sec~209.8m³/sec의 範圍로 尖頭到達時間이 늦어지므로써 尖頭流量이 많은 傾向을 볼 수 있으며 따라서 遲滯時間

Table 10. Characteristics of Watershed Stream

River system	Sub Watershed	Watershed Area(km ²)	L(km)	Lca(km)	Slope (m/km)
Han River	Maesan	112.0	19.98	7.8	2.66
	Banwolsung	266.0	31.25	11.4	1.82
	Janghowon	470.2	41.75	15.8	1.46
Geum River	Koeun	85.3	17.65	9.1	6.62
Yeongsan River	Ipyo	140.7	19.30	7.4	9.0
	Whasun	19.30	20.03	9.0	68.5
Nakdong River	Supyung	84.3	19.40	7.9	13.59
Incheon River	Kochang	205.6	22.70	11.8	2.16

Table 9. Dimensionless Unitgraph Ordinate for Koeun Stream of Geum River Basin

$\frac{T}{T_p}$	$\frac{Q}{Q_p}$	$\frac{T}{T_p}$	$\frac{Q}{Q_p}$
0.00	0.000	2.17	0.481
0.17	0.037	2.33	0.370
0.33	0.338	2.50	0.319
0.50	0.583	2.67	0.264
0.67	0.870	2.83	0.213
0.83	0.981	3.00	0.167
1.00	1.000	3.17	0.134
1.17	0.981	3.33	0.111
1.33	0.926	3.50	0.088
1.50	0.819	3.67	0.060
1.67	0.713	3.83	0.042
1.83	0.644	4.00	0.014
2.00	0.556	4.17	0.000

間도 流域面積이 85km²~140.7km²까지의 流域에서는 2.1時間~6.2時間 程度이나 266.5~470.2km²의 流域에서는 7.5時間~9.3時間으로 流域이 커질에 따라서 遲滯時間의 增加를 보여주고 있다. 洛東江流域의 遲滯時間에 對해서 徐(88)(89)는 1000km² 內의 流域에서 大略 6時間~10時間 程度이나 9,000~20,000km²의 大流域에서는 平均遲滯時間이 20時間~50時間으로크게 나타난것으로 分析하였다.

6) 流域特性 分析

(1) 河川長, 河川重心長 및 河川傾斜

水系別 該當 各流域의 水位標 地點에 對한 1:50,000 地形圖로부터 主流의 河川長을 求하였고 各流域의 重心에서 主流河川에 가장 가깝게 直角으로 交叉되는 地點에서 流域出口까지의 距離를 實測하여 河川重心長을 求하였다. (89)(112) (표-10 參照)

河川長에 對한 河川重心長의 比率은 36.5%~51.6%로 平均 42.6%를 나타내고 있다. 이는 徐⁽⁸⁸⁾의 洛東江 流域에 對한 平均 45.3%, 尹⁽⁸⁹⁾⁽¹¹¹⁾의 漢江 7個 流域에서의 平均 48.7%에 거의 類似한 結果이나 流域이 커질수록 이 比率은 漸高 함을 엿볼수 있다. 또한 河川의 平均傾斜를 求하기 爲하여 該當 各流域의 河川을 10~30個의 河川區間으로 나누어 平均 傾斜를 求하였으며 다음 式을 使用하였다.

(88)(89)(94)(98)(112)

$$S = \left[\frac{\sum L_i}{\sum \left(\frac{L_i}{\sqrt{S_i}} \right)} \right]^2$$

標本例로서 高敞地區 平均傾斜는 그림-10과 같으며 全體 對象流域의 傾斜는 1.46m/km~13.6m/km로 上流 小流域으로 갈수록 急함을 보여주고 있다.

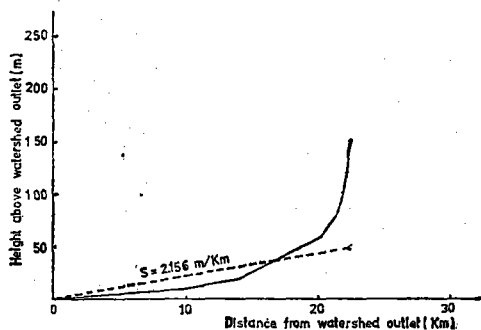


Fig. 10 Determination of Average slope of Kochang stream

(2) 河川長과 流域面積과의 關係

河川의 主流延長과 流域面積 間의 相關關係를 究明하기 爲하여 FACOM 230-10 電子計算機에 依하여 實驗式을 誘導한바 $L = 2.044A^{0.48}$ 로써 나타났고 相關係數 0.968의 高度의 有意性이 認定되었다.

(그림-11 參照)

이는 世界 各河川에 있어서 河川長과 流域面積의 相關式인 $L = 1.89A^{0.4}$ 과 거의 類似한 것으로 나타났으며⁽¹¹⁾⁽¹²⁾ D.M. Gray⁽¹¹⁾는 美國 Illinois州를 포함 한 5個州 42個 流域을 對象으로 分析한 結果 $L = 1.40A^{0.588}$ 의 實驗式을 誘導한 點으로 미루어 河川長과 流域面積 間의 高度의 有意性을 시사해 주고있다.

(3) 遲滯時間과 流域特性值 및 比流量과의 關係

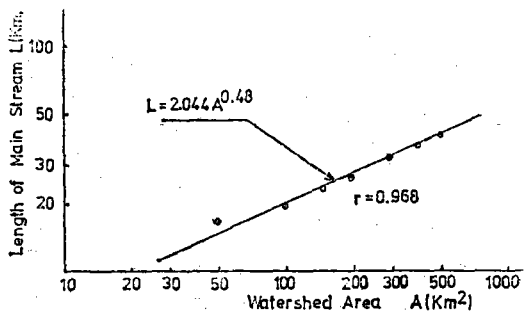


Fig. 11 Relationship between Length of Main Stream and Watershed Area

誘導된 單位圖의 遲滯時間과 流域特性值 間의 相關關係를 FACOM 230-10 電子計算機에 依하여 分析한 結果 表-11에서 보는바와 같이 3個의 實驗式이 誘導되었고 이들間에 複合相關關係 및 分散分析에 依한 F 值의 計算結果를 보면 遲滯時間과 流域特性值인 流域 面積, 河川長 및 河川平均傾斜와의 關係는 5%의 有意性만이 認定되었으며 流域面積과 河川平均傾斜 그리고 流域面積과 河川長에 依한 關係는 둘다 F 值 5.43, 6.22로서 高度의 有意性을 보이고 있으나 이들의 各各을 兩對數紙에 點化(Plotting) 해본 結果 流域面積과 河川長과의 複合關係式인 $Lg = 3.228A^{0.904}L^{-1.293}$ 이 더욱 좋은

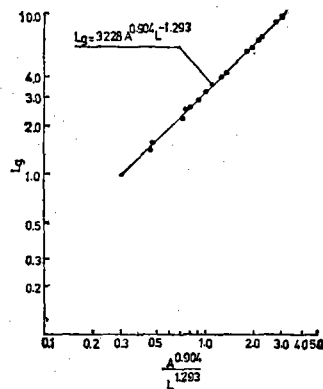


Fig. 12 Relationship between Lg and Watershed characteristics

結果를 가져왔다.⁽⁶⁾⁽⁶¹⁾⁽⁶⁴⁾⁽⁶⁵⁾⁽⁷⁰⁾⁽⁹⁸⁾ (그림-12 參照) 一便 河川長, 河川重心長과 流域平均傾斜와의 關

Table 11. Derivation of Empirical Formula for Lg

Empirical Formula	Multiple Correlation Coefficient	F Value by Analysis of Variance	Significance
$Lg = 5.297A^{0.683}L^{-1.01}S^{-0.14}$	0.48	4.23	Significant
$Lg = 0.278A^{0.054}S^{-0.244}$	0.45	5.43	Highly Significant
$Lg = 3.278A^{0.904}L^{-1.293}$	0.47	6.22	Highly Significant

係를 分析 해 본 結果 $Lg=0.247 (L.LCa/\sqrt{S})^{0.604}$ 의 實驗式 이 誘導되었으나 $r=0.93$ 으로서 5%의 有意性이 認定되었다. Nash⁽⁷⁰⁾⁽⁷¹⁾⁽⁷⁸⁾는 英國의 90個 流域에서 $m_1=27.6A^{0.8}$ OLS- $0.3(m_1$: 지체시간 OLS: 지표면 경사)의 關係式으로서 複合相關係數 0.9의 高度의 有意性을 提示했고 Wu⁽¹⁰⁷⁾⁽¹⁰⁸⁾는 美國 Indiana 州의 小流域을 對象으로 求한 遲滯時間 $t_p=31.4A^{1.08} L^{-1.28} S^{-0.07}$ 를 提唱 하였다. 한편 河川長, 重心長, 河川傾斜間의 關係에서 Snyder⁽⁹⁾⁽¹²⁾⁽⁶⁵⁾⁽⁴³⁾⁽¹⁰³⁾⁽¹¹⁰⁾는 美國 Appalachian 流域에서 遲滯時間 $t_p=1.8\sim 2.2 (L.Lca)^{0.3}$ 의 式을 誘導하였고 Taylor와 Schwarz⁽¹⁾⁽⁶²⁾는 美國 中北部의 20個 大流域에 對한 65個의 豪雨分析에서 $t_{PR}=C'e^{m'R}$, $C'=\frac{0.6}{\sqrt{S}}$, $m'=\frac{0.212}{(L.Lca)^{0.38}}$ 의 實驗式을 이끌어냈으며 中安⁽⁷⁸⁾⁽⁷⁹⁾은 日本의 千代川을 對象으로 遲滯時間 $t_p=0.27L^{0.7}$ 의 式을 誘導하였다. 尹⁽³⁰⁾⁽¹¹¹⁾은 漢江 7個流域에서 $t_p=1.444(L.Lca)^{0.804}$ 를 鮮于⁽⁸⁰⁾⁽¹¹¹⁾는 錦江 5個 流域에서 $t_p=0.1141(L.Lca)^{0.6166}$ 式을 그리고 徐⁽⁸⁸⁾는 洛東江 9個流域에서 $t_p=0.253(L.Lca)^{0.4171}$ 의 式을 誘導하였다⁽⁸⁴⁾. 이를 보건데 遲滯時間과 流域特性值 間에는 筆者가 分析 對象으로한 流域面積 $85\text{km}^2\sim 470\text{km}^2$ 內의 小流域에 있어서 遲滯時間은 流域面積과 河川長의 複合相關係가 더욱 좋은 結果를 보인 反面 平均的으로 $10,000\text{km}^2$ 以上の 大流域에서는 流域面積을 除外한 河川長과 河川重心長 만의 相關係가 좋은 結果를 가져왔음을 나타내고 있다. ⁽⁹⁾⁽⁶⁵⁾⁽⁸³⁾⁽¹⁰³⁾⁽¹⁰⁸⁾⁽¹¹⁰⁾ 또한 遲滯時間과 最大比流量間에 關係는 半對數紙上에서 相關係數 0.91의 高度의 有意性이 認定되는 $q_p=10^{-0.389-0.0424Lg}$ 의 關係式이 誘導되었다. (그림-13 參照)

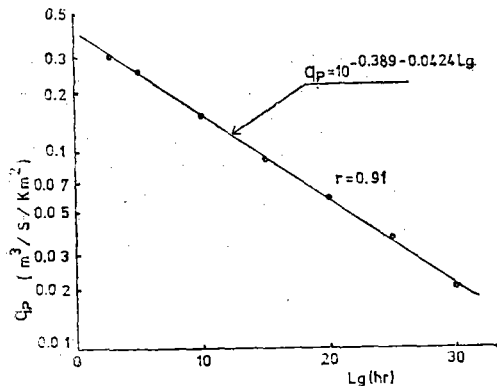


Fig. 13 Relationship between q_p and L_g

이는 徐⁽⁸⁸⁾가 洛東江 9個流域에서 誘導한 $q_p=10^{-0.52-0.0184Lg}$ 와 거의 近似함을 보여주고 있다. Taylor와 Schwarz⁽⁶²⁾는 美國 20個流域에서

$$q_{PR}=C''e^{m''R} \text{ (c.f.s/sq.m)}$$

但 $m''=0.121S_{it}^{0.142}-0.212(L.Lca)^{-0.58}-0.05$

$$C''=\frac{382}{(L.Lca)^{0.38}} \quad (S_{it}: \text{一定區間의 河川傾斜 } t_R: \text{單位圖의 持續期間})$$

의 式으로서 河川長과 河川重心長의 積인 $L.Lca$ 와 河川傾斜, 單位圖 持續時間을 結付시켜 誘導하였으며 Laden, Reilly⁽¹⁾⁽⁶²⁾는 美國 Ohio 洲의 115 평방 마일 $\sim 1,825$ 평방마일의 流域面積을 가진 31個流域에서 $q_p=KB^{-1.01}$ (c.f.s/sqm)을 提示하였다. (式에서 B : 單位圖의 基底長, K : $\frac{W}{L}$ 에 依해 決定되는 係數)

또한 Snyder⁽⁶⁾⁽⁵⁵⁾⁽⁸³⁾⁽⁸⁸⁾⁽¹⁰⁸⁾⁽¹⁰⁹⁾는 $q_p=C_p\frac{640}{t_p}$ (c.f.s/sqm)의 式을 제안 하였다. ($C_p: 0.56\sim 0.69$) 이들이 誘導한 q_p 와 流域特性值間의 關係는 主로 河川長, 河川重心長과 河川傾斜로 이루어져 있어 流域의 遲滯時間이 流域面積과 河川長의 相關係에서 高度의 有意性을 보여주고 있는 對象小流域에의 上式들에 對한 適用分析의 必要性은 없음을 시사하고 있다.

(4) 流域의 遲滯時間과 基底時間과의 關係

單位流量圖의 基底時間과 遲滯時間 間에는 直線의 關係를 가지고 있음은 周知의 事實이다. 또한 基底時間의 짧고 길음이 尖頭流量의 높고 낮음을 나타내는 重要性을 갖고 있다. 本 8個小流域을 對象으로 2時間 單位圖의 基底時間 T_b (hrs)와 遲滯時間 L_g (hrs)와의 關係式을 求한結果 日單位로 $T_b=1.14+0.564\left(\frac{L_g}{24}\right)$, 時間單位로 $T_b=2729+0.564L_g$ 로서 高度의 有意性이 認定되었다. (그림-14 參照)

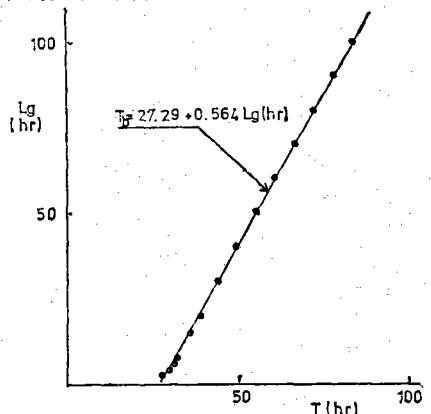


Fig. 14 Relationship between L_g and Time base

Snyder⁽⁶⁾⁽⁵⁵⁾⁽⁸³⁾⁽⁸⁸⁾⁽¹⁰³⁾⁽¹¹⁰⁾는 美國 Appalachian 流域에서 $T=3+3\left(\frac{t_p}{24}\right)$ (days)의 式을 Linsley⁽⁸⁾⁽⁶⁴⁾ ⁽⁵⁵⁾는 美國 California 流域에서 Snyder의 式을 修正한 $T=3+(3t_{PR}/24)$ (days)의 式을 誘導하였다.

式에서 t_{PR} (Basin lag) : $t_p + (C_s - 0.5)t_R$. t_{p0} : 0.5 (L.Lca)⁹² (S : 0.85, t_R : 인의의 有效降雨 期間)

또한 Taylor 와 Schwarz⁽⁹³⁾는 $T=5(t_{PR} + t_R/2)$ (hrs)의 式을 제창하였다. 式에서 t_{PR} : 遲滯時間, t_p : 有效降雨 繼續時間.

一便 韓國에 있어서 尹⁽⁹⁰⁾⁽¹¹¹⁾은 漢江 7個 流域에서 $T=3.15+3.98\left(\frac{t_p}{24}\right)$ 를 鮮于⁽⁹⁰⁾⁽¹¹¹⁾는 錦江 5個 流域에서 $T=0.433+5.101\left(\frac{t_p}{24}\right)$ 를 徐⁽⁹⁸⁾는 洛東江 9個 流域을 相對로 $T=0.730+2.073\left(\frac{t_p}{24}\right)$ 의 式을 各各 誘導하였다. 上記한 이들 實驗式들은 中程度 以上의 流域에서 誘導된것으로 筆者가 小流域을 對

象으로 誘導한 基底時間에 比해서 훨씬 긴 時間을 나타내고 있다. 이는 流域의 遲滯時間 乃至는 流域面積의 크고 작음이 基底時間의 長短을 支配하는 重要한 要因이 되겠으며 이밖에도 基底流出의 分離 方法 如何에도 多少 差異가 날것으로 본다.

한便 基底時間과 尖頭到達時間과의 關係에서 보면 本分析에 있어서 8個小流域에 對한 $T_b=4.3T_p$ 로 서 나타났고 이는 Victor Mockus⁽¹⁾⁽⁶⁾⁽⁹⁸⁾의 美國 여러 流域에 對한 $T_b=2.67T_p$ 와 徐⁽⁹⁸⁾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 보여 주는것으로서 이는 上流部 小流域일수록 林相의 不良과 急傾斜로 인해 尖頭流量의 到達 時間이 빠르다는 事實을 立證 해주고 있다.



祝

農學博士

李 淳 赫

當 學會 正會員인 李淳赫 會員은 오랜 研究生活 끝에 博士學位를받 은데 對하여 全 會員과 더불어 祝賀 드리는 바입니다. 앞으로 農工分野에 보다 더 깊은 研究가 있을것을 付託 드립니다.

勤 務 處 : 忠北大學 農工學科

生年月日 : 1939年11月19日

最終學校 : 서울大學校 大學院

學位受與 : 서울大學校

學位論文 : 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