

# 地形·氣候變數와 洪水量的 關係에 關한 研究

柳 根 培

## ◀ 目 次 ▶

1. 序 論	3. 資料의 分析
2. 資料 및 變數	(1) 主成分分析
(1) 資 料	(2) 回歸分析
(2) 變數의 採擇	4. 結 論

### 1. 序 論

河川地形學 및 水文學은 지난 40年동안 分析技法으로 計量分析이 利用되면서 急進的인 發展을 이루어 왔다. Horton의 古典的인 研究(1945)에서 河川地形의 定量的 表現이 試圖된 이후, 새로운 變數와 概念이 追加되고 多樣한 氣候와 地形이 나타나는 地域에서 이 分野의 研究가 進前됨에 따라 Horton의 變數와 概念은 修正·補完을 거듭해왔

다.<sup>1)</sup>

特定한 地形과 氣候條件下에서 河川流量을 正確하게 豫測해 낸다는 것은 오랫동안 河川水文學의 가장 重要한 目標 가운데 하나였다.

그러나, 河川流量을 決定하는 地形變數나 氣候變數가 內的으로 複雜한 메카니즘을 이루고 있기 때문에 아직도 河川地形과 流量間의 關係를 完全히 計量化시키지 못한 實情이다.<sup>2)</sup>

Potter(1953)<sup>3)</sup>는 本流길이(Length of Main Stream)와 傾斜를 T-ratio로 降雨強度(Precipitation

\* 본 논문은 필자의 碩士學位論文임. 指導教授이신 朴東源 教授님에게 感謝드립니다.

1) Strahler, A. N., 1952, "Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography", *Geol. Soc. America Bull.*, Vol. 63, pp. 1117~1142.  
 Maxwell, J. C., 1955, "The bifurcation ratio in Horton's law of stream numbers" (Abstract), *Am. Geophys., Union Trans.*, vol. 36, p. 520.  
 Melton, M. A., 1959, "A deviation of Strahler's channel ordering system", *J. of Geol.*, vol. 67, pp. 345~346.  
 熱力學, 流體力學, 生物學等에서 새로운 概念이 導入되었는데, 代表的인 것으로 다음과 같은 것이 있다.  
 Leopold, L. B. and Langbein, W. B., 1962, "The concept of entropy in landscape evolution", *U.S. Geol. Sur. Prof. Paper* 500-A.  
 Chorley, J. C., 1962, "Geomorphology and general system theory", *U.S. Geol. Sur. Prof. Paper* 500-B  
 Woldenberg, M. J., 1966, "Horton's laws justified in terms of allometric growth and steady state in open system", *Geol. Soc. America Bull.*, vol. 77, pp. 431~434.  
 2) Morisawa, M. E., 1962, "Quantitative geomorphology of some watersheds in the Appalachian Plateau", *Geol. Soc. America Bull.*, vol. 73, p. 1026.  
 Linsley, R. K. Jr., Kohler, M. A. and Paulhus, J. L. H., 1975, *Hydrology for Engineers*, McGraw-Hill Book Co., New York, p. 417.  
 3) Potter, W. D., 1953, "Rainfall and topographic factors that affect runoff", *Am. Geophys. Union Trans.*, vol. 34, pp. 67~73.

Intensity)를 P-ratio로 表現하여 이들을 流出量에 關係시켜 回歸式으로 나타내었다.

Morisawa(1959)<sup>4)</sup>는 Potter의 T-ratio를 起伏率(Relief Ratio)과 圓形率(Circularity), 1次數河川의 頻度(First Order Stream Frequency)로 代替하여 河川流量에 對해 回歸分析을 實施했다. Benson(1960)<sup>5)</sup>은 9個의 再現期間(recurrence interval)에 해당하는 尖頭洪水量이 流域面積, 河川傾斜, 地表貯水量, 降雨強度等과 깊은 相關을 나타내고 있음을 밝혔다. Wong(1963)<sup>6)</sup>은 年平均洪水량을 數式化시키는 데에 流域面積, 傾斜, 河川길이, 河系密度, 流域面積에 對한 貯水面積의 比率, 降雨強度等을 變數로 採擇하여 變數間의 關係를 구하고 年平均洪水량에 對한 地形 및 氣候變數의 回歸分析을 試圖했다. Orsborn(1974)<sup>7)</sup>은 年平均洪水량을 決定하는데 있어서 地形變數보다 氣候變數가 더 큰 寄與를 한다고 밝혔다.

지금까지의 地形과 氣候變數에 關聯시킨 河川流量의 研究를 要約하면 河川流量에 對하여 流域面積, 傾斜, 流域中心點에서 河口까지의 距離, 平均高度, 流域의 遲滯(Basin Lag), 貯水量, 氣候, 植生, 土壤等의 變數가 높은 相關을 나타내며,

$$Q_T = aB^b C^c D^d E^e \dots$$

와 같이 表現된다. 이때  $Q_T$ 는 再現期間 T年에 該當하는 確率流量이며, B, C, D, E...는 地形과 氣候等의 狀態를 나타내는 變數이고, a, b, c, d, e는 回歸常數이다.

한편, 우리나라에서도 Horton-Strahler의 河川數·河川길이 法則을 適用시킨 研究가 있다.<sup>8)</sup> 流量과 地形間의 關係에 대한 최초의 研究는 Kaj-

iyama에 의한 것으로서 다음과 같은 公式으로 表現된다.<sup>9)</sup>

$$Q_{MAX} = CA^{0.877-0.041og^4}$$

$$C = F(310+r) \left( 4 + \frac{A}{L^2} \right)$$

이때,  $Q_{MAX}$  = 最大洪水量(m<sup>3</sup>/sec)

T = 流域內 24時間 最大雨量의 平均値

L = 河川의 길이

F = 流域傾斜 및 植生에 關한 變數

(低流出地域 0.0063, 急傾斜·高流出地域 0.0079)

이다. 崔榮博(1972)<sup>10)</sup>은 洛東江을 對象으로 地形因子와 比流量을 比較하였고, 尹龍男(1973)<sup>11)</sup>은 漢江을, 安相鎭(1980)<sup>12)</sup>은 錦江을 對象으로 地形變數와 頻度流量을 相關시켰고, 高在雄(1977)<sup>13)</sup>은 頻度流量과 流域面積에 對하여 單純回歸分析을 試圖하였다.

本稿에서는 이미 歐美各國에서 多變量解析가운데 河川地形과 流量間의 關係를 研究하는데 適用될 수 있다는 것이 證明된 主成分分析과 重回歸分析을 通해서 漢江, 錦江, 洛東江流域의 地形變數, 氣候變數, 流量사이의 內的 關係를 밝히고 洪水流量과 地形 및 氣候變數에 回歸分析을 實施하여 그 關係를 計量的으로 表現하고자 한다.

## 2. 資料와 變數

### (1) 資料

Stream geometry와 그외의 地形變數의 計測에

- 4) Morisawa, W. D., 1962, *ibid*, pp. 1025~1046.
- 5) Benson, M. A., 1960, "Areal flood-frequency analysis in a humid region", *International Association of Scientific Hydrology, Bulletin*, No. 19, pp. 5~15.
- 6) Wong, S. T., 1963, "A multivariate statistical model for predicting mean annual flood in New England", *Ann. A. A. G.*, vol. 53, pp. 298~311.
- 7) Orsborn, J. F., 1974, "Determining stream flows from geomorphic parameters", *J. of the Irrigation and Drainage Div. Proc. A. S. C. E.*, Vol. 100, pp. 455~475.
- 8) 朴良善, 1970, "南漢江流域河系網發達의 定量的 分析", 서울大學校 教育大學院 碩士學位論文.
- 鄭章鎬, 1974, "北漢江流域河系網發達의 定量的 分析", 首都女子師範大學 論文集, 第6輯, pp. 241~256.
- 9) 元泰常, 1962, 河川工學, 文運堂, pp. 121~122.
- 10) 崔榮博, 1972, "우리나라 洪水와 地形因子에 關한 研究", 科學技術處 研究報告書 R-71-75
- 11) 尹龍男, 1973, "漢江水系의 河川形態學의 特性과 頻度流量과의 相關性", 大韓土木學會誌, 第21卷, 第1號, pp. 46~59.
- 12) 安相鎭, 1980, "流域의 河川形態學의 特性因子와 流出 및 水理幾何間의 相關性", 仁荷大學校 大學院 博士學位論文.
- 13) 高在雄, 1977, "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, pp. 95~102.

는 많은 問題點을 內包하기 때문에 地形計測의 正確度와 信賴度가 解決된다면 計量地形學은 더 큰 發展을 이룩했을 것이라고 論議되어 왔다.<sup>14)</sup> 더우기, 河川地形에 있어서 몇몇 parameter에 關係서는 뚜렷한 標準이 되는 定義나 測定方法이 不備된 狀態이다. 河川길이의 경우, 그것이 河川地形의 가장 基本的인 parameter로 看做되지만 實際로 定義나 測定方法에 있어서는 아직 共通의 標準이 設定되지 못한 實情이다.<sup>15)</sup>

資料出處(data source)에 關係서도 많은 論議가 있어 왔는데, 實測資料와 航空寫眞·地形圖上에서 計測한 資料 사이에는 不一致를 나타내고 있다.<sup>16)</sup> 特히 地形圖의 경우 縮尺이 小縮尺으로 移行됨에 따라 一定한 比率로 1次數河川이 감소하여 次數決

定에 影響을 주고 있다는 것은 많은 研究에서 밝혀져 왔다.<sup>17)</sup>

結局, 研究의 目的에 따라 資料의 出處와 變數에 對한 定義가 採擇되어야 하며, 出處가 相異한 資料와 그 分析結果를 比較한다는 것은 無理이다.

本稿에서는 河川流量에 影響을 미치는 地形變數를 計測하는 立場이므로 傳統的인 Horton의 方法에 따라 1976年以後 國立地理院 發行의 1:50,000 地形圖에서 靑色實線 및 靑色點線을 河川으로 定義하고 不分明한 地點은 1967年以後 撮影한 1:37,500 航空寫眞을 통해서 點檢했다. 洪水量資料는 建設部가 發行한 韓國水文調查書(1962, 1980), 韓國水文調查年報, 韓國의 洪水等에서 얻었다. 調查對象 流域은 觀測地點數가 比較的 많고 大規



그림 1. 研究 地域

14) Morisawa, M. E., 1962, *ibid*, pp. 1027~1028.

15) 예를들면, 地形圖上에서 河川을 靑色線으로 定義하는 경우와 V字谷까지 延長하는 경우가 있다.

Mueller, J. E., 1979, "Problems in the definition and measurement of stream length", *Professional Geographer*, vol. 31, pp. 306~311.

16) Morisawa, M. E., 1957, "Accuracy of determination of stream lengths from topographic maps", *Am. Geophys. Union Trans.*, vol. 38, pp. 86~88.

17) Yang, C. T. and Stall, J. B., 1971, "Note on the map scale effect in the study of stream morphology", *Water Resource Research*, vol. 7, pp. 709~712.

高山茂美, 1972, "地形圖의 縮尺이 水流의 区分에 及ぼす 影響について", *地理學評論*, 第45卷, 第2号, pp. 112~119. 安相鎮, 1980, *ibid*, pp. 22~24.

模 範으로 流量에 影響을 받지 않았던 南漢江, 錦江, 洛東江流域에 局限시켰다. 雨量資料는 中央觀象臺發行的 氣象年報에서 얻었다.

표 1. 觀測地點 및 資料期間

觀測地點	資料期間	觀測地點	資料期間
단양	1952~1979	강창	1952~1979
충주	1953~1979	왜관	1954~1979
목계	1953~1979	현풍	1952~1979
여주	1955~1979	진동	1954~1979
공주	1952~1979	임해진	1956~1979
규암	1952~1979	밀양	1952~1979
석화	1955~1979	마수원	1956~1979
옥천	1954~1979	김천	1956~1979
안동	1952~1979	독산	1952~1979
낙동	1952~1979	동촌	1952~1979

(2) 變數의 採擇 및 定義

1) 流域面積(Drainage Area)

流域計測地點을 基點으로 流出이 集水되는 面積(km<sup>2</sup>)으로 定義된다. 流域面積(A)과 流量(Q)의 關係는

$$Q = jA^m$$

으로 表現되는데, 이때 j와 m은 常數로 m은 0.5~1.0의 範圍를 갖는다.<sup>18)</sup>

2) 流域形狀(Basin Shape, Outlineform of Drainage Area)

流域形狀은 河川流量曲線의 特性에 影響을 미친다. 流域形狀을 나타내는 方法은 다음과 같다.

① Horton's Rf

$$Rf = \frac{A_u}{L_b^2}$$

Rf = 流域形狀係數

Lb = 流域의 最長徑

Au = 流域面積

② Miller의 圓形率(Circularity ratio) R<sub>c</sub><sup>19)</sup>

$$R_c = \frac{A_u}{A_c}$$

A<sub>c</sub> = A<sub>u</sub>의 周圍와 같은 길이의 周圍를 갖는 圓의 面積

③ Schumm의 細長率(Elongation ratio) R<sub>e</sub><sup>20)</sup>

$$R_e = \frac{D_{ca}}{L_b}$$

D<sub>ca</sub> = A<sub>u</sub>와 같은 面積을 갖는 圓의 直徑

④ Chorley, Malm and Pogorzelski's ρ<sup>21)</sup>

$$\rho = \frac{\pi L_b^2}{4A_u}$$

ρ = coefficient of the rotundity of the basin

本稿에서는 一般적으로 사용되어 온 Horton의 Rf를 採擇하여 流域形狀을 나타냈다.

3) 水系密度(Drainage Density)

水系密度(D<sub>d</sub>)는 單位面積當 河川길이의 總합으로 Horton은

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^N L_{ij}}{A_u}$$

로 定義한다. 이때 A<sub>u</sub>는 流域의 總面積, ΣΣL<sub>ij</sub>는 流域內 모든 河川의 길이이다. 河系密度는 河道間의 間隔을 나타내는 것으로 地質·岩石보다는 植生 및 降雨量과 깊은 關係가 있음<sup>22)</sup>이 밝혀지고 있어, 降雨, 土壤, 植生을 綜合적으로 反映하는 變數로 看做된다.

4) 1次數河川數(Magnitude of First order stream)

Horton의 河川數의 法則은 河川길이의 法則과 깊은 關聯을 지니고 있다.<sup>23)</sup> 確率論, 位相論, 組

18) Wisler, C. O., Low, D. E., 1959, *Hydrology*, John Wiley & Sons, Inc., p. 329.

19) Miller, V. C., 1953, "A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee", *Project NR 389-042, Tech. Rept. 3*, Columbia University, Department of Geology, p. 8.

20) Schumm, S. A., 1956, "Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey," *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 67, p. 612.

21) Chorley, R. J., Malm, D. E. G., and Pogorzelski, H. A., 1957, "A new standard for estimating drainage basin shape," *Am. J. Sci.*, vol. 66, pp. 587~591.

22) Melton, M. A., 1957, "An analysis of the relations among elements of climate, surface properties and geomorphology", *Project NR 389-042, Tech. Rept. 11*. Columbia University, Department of Geology, pp. 33~35.

Chorley, R. J., 1957, "Climate and morphometry", *J. of Geol.*, vol. 65, pp. 669~675.

Chorley, R. J. and Morgan, M. A., 1962, "Comparison of morphometric features, Unaka Mountains, Tennessee and North Carolina, and Dartmoor, England", *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol. 73, pp. 17~34.

23) Melton, M. A., 1958, "Correlation structure of morphometric properties of drainage systems and their controlling agents," *J. of Geol.*, vol. 66, pp. 442~446.

合論이 導入되면서 Horton의 河川數法則은 數學的 論理의 飛躍을 露出시켰고, 이것은 確率을 바탕으로 位相적으로 區分되는 河系(TDCN) 또는 組合理論으로 修正·補完되어 왔다.<sup>24)</sup> 따라서 서로 다른 河系網群의 差異를 反映하는 河川次數에 關한 가장 重要한 Parameter는 河川의 最高次數라기 보다는 1次數河川數로 看做된다.<sup>25)</sup>

1次數河川數와 流量間의 關係는

$$Q = aM^k$$

로 定義되는 데<sup>26)</sup>, 이때  $a$ 는 常數,  $K$ 는 係數,  $M$ 은 計測地點으로 流入하는 1次數河川의 總數이다.

#### 5) 流域平均傾斜

流域平均傾斜( $S_g$ )는 河道傾斜, 起伏率, 谷側傾斜(valley side slope)와 直接的인 關係가 있으며, 河道傾斜는 單位流量曲線의 遲滯(lag)와 尖頭流量에 깊은 關係가 있다. Taylor와 Schwarz에 依하면,<sup>27)</sup>

$$C' = \frac{a}{\sqrt{Sm}}$$

으로 本流河道傾斜( $Sm$ )와 遲滯係數(lag coefficient)  $C'$ 와의 關係가 定義된다. 이때  $a$ 는 常數이다.

流域平均傾斜를 計測하는 데에는 2~3가지의 方法이 있는데, 本稿에서는 Horton의 交點法을 擇하였다.

$$S = \frac{\pi DN}{2 \sum l} = \frac{D}{d}$$

이때  $D$ 는 等高線의 間隔,  $d$ 는 等高線法線間의

平均距離,  $l$ 은 方眼線길이,  $N$ 은 等高線과 方眼線의 交點數이다.

#### 6) 降雨強度(Precipitation Intensity)

降雨強度를 表現하는 方法에는 Potter의 P-ratio와 24時間 最大降雨量이 있는데, 우리나라에서는 流域內의 最大降雨量이 最大洪水發生과 거의 一致하고 있기 때문에 本稿에서는 24時間最大降雨量(27年平均值)을 採擇했다.

#### 7) 年平均洪水量(Mean Annual Flood)

流量  $Q_T$ 는 再現期間  $T$ 년에 해당하는 尖頭流量으로 再現期間 1.2, 2.33, 5, 10, 25, 50, 100, ... 1000년에 해당하는 確率洪水量이다. 특히  $Q_{2.33}$ 은 一般的으로 年平均洪水量과 잘 一致하여 水文學的意味가 가장 큰 確率洪水量으로 밝혀져 왔다. 各觀測地點의 流量—水位曲線(rating-curve)에서 流量을 求하고 이를 바탕으로 Gumbel Chart(Gumbel extreme value probability paper)에서  $Q_{2.33}$ 을 判讀했다.

#### 8) 分析에서 除外된 變數

지금까지의 研究에서 밝혀진 流量에 影響을 미치는 變數가운데 溫度, 流域面積에 對한 貯水面積의 比率, 植生, 土壤, 地質에 關한 變數는 分析에서 除外시켰다.

溫度의 경우 洪水期에 해당하는 期間의 溫度는 우리나라에서 地域的 偏差가 거의 無視되며, 地質의 경우 地質의 差異에 따른 流量의 差를 調査한다는 것이 事實上 不可能하기 때문에 調査對象河

24) 代表的인 것으로

Shreve, R. L., 1969, "Stream lengths and basin areas in topologically random channel networks," *J. of Geol.*, vol. 77, pp. 397~414.

Scheidegger, A. E., 1968, "Horton's law of stream numbers," *Water Resource Research*, vol. 4, pp. 655~658.

Scheidegger, A. E., 1968, "Horton's laws of stream lengths and drainage areas," *Water Resource Research*, vol. 4, pp. 1015~1021.

Smart, J. S., 1967, "A comment on Horton's law of stream numbers," *Water Resource Research*, vol. 3, pp. 773~776.

Smart, J. S., 1969, "Topological properties of channel networks," *Geol. Soc. America Bull.*, vol. 80, pp. 1757~1774.

徳永英二, 1974, "組合せ理論による水路數の法則の考察", 地理學評論, 第47卷, 第11号, pp. 696~708.

25) Chorley, R. J., 1958, "Group operator variance in morphometric work with maps," *Am. J. of Sci.*, vol. 256, pp. 208~218.

26) Woldenberg, M. J., 1972, "Relations between Horton's laws and hydraulic geometry as applied to tidal networks", *Harvard Papers in Theoretical Geography*, No. 45, Project NR 389-147, pp. 10~12.

27) Taylor, A. B., Schwartz, H. E., 1952, "Unit hydrograph lag and peak flow related to basin characteristics," *Am. Geophys. Union Trans.*, vol. 33, pp. 235~246.

川地域에서는 除外시켰다.<sup>28)</sup>

土壤 및 植生에 관해서는 우리나라에서 客觀的인 指標가 되는 資料가 不備하고, 貯水地와 澁面積의 경우는 實際로 資料獲得이 어려우며 流量觀測期間中에 建設된 貯水面積에 對한 處理는 아직 解決을 못한 實情이므로 除外시켰다.

### 3. 資料의 分析

測定된 流量이 調査分析에 充分한 漢江, 洛東江, 錦江流域의 20個 觀測地點(표 1)을 基點으로 앞에서 論한 計測方法으로 獲得한 變數는 다음과 같다.

① 流域面積(Drainage Area,  $x_1$ )

② 流域形狀(Basin Shape,  $x_2$ )

③ 本流河道傾斜(Main Chinnel Slope  $x_3$ )

④ 流域平均傾斜(Average Land Slope,  $x_4$ )

⑤ 河系密度(Drainge Density,  $x_5$ )

⑥ 本流길이(Lenght of Main Stream,  $x_6$ )

⑦ 一次數河川數(Magnitude of First Order Stream,  $x_7$ )

⑧ 降雨強度(Precipitation Intensity,  $x_8$ )

⑨ 年平均洪水量(Mean Annual Flood,  $x_9$ )

이 變數들은 相互 對數關係(log normal)에 있기 때문에 自然對數(natural logarism, LN)로 變換된다.

資料行列  $20 \times 9$  는 主成分分析과 多項回歸分析에서 共通의 相關行列  $9 \times 9$  로 計算된다.(표 2)

표 2. 相 關 行 列

	D. A $x_1$	B. S $x_2$	M. C. S $x_3$	A. L. S $x_4$	D. D $x_5$	L. M. S $x_6$	M. E. O. S. $x_7$	P. I $x_8$	M. A. F $x_9$
$x_1$	1.000000	-0.43574	-0.68535	-0.20846	-0.11114	0.95111	0.81054	0.62638	0.96192
$x_2$		1.000000	0.11474	-0.07028	-0.26743	-0.53350	-0.57874	0.31903	-0.28828
$x_3$			1.000000	0.59944	0.06983	-0.58886	-0.51562	-0.04281	-0.64962
$x_4$				1.000000	0.24149	-0.12069	0.05546	-0.28778	-0.21444
$x_5$					1.000000	-0.14201	0.45820	-0.34550	-0.32719
$x_6$						1.000000	0.78874	-0.16269	0.92835
$x_7$							1.000000	-0.26667	0.66217
$x_8$								1.000000	0.10863
$x_9$									1.000000

#### (1) 主成分分析

相關行列에서 principal axis analysis에 依해

표 3. Eigenvalue, 寄與率, 累積寄與率

COMPO-NENT	EIGENV-ALUE	% OF VARIANCE	CUM. % OF VAR.
1	4.35839	48.4	48.4
2	2.12144	23.6	72.0
3	1.02218	11.4	83.4
4	0.70520	7.8	91.2
5	0.60125	6.7	97.9
6	0.15737	1.7	99.6
7	0.01630	0.2	99.8
8	0.01130	0.1	99.9
9	0.00655	0.1	100.0

Eigenvalue 寄與率(% of variance), 累積寄與率(cum. % of variance)이 求해지는데, 그 結果는 다음과 같다.

成分 I 이 48.4%, 成分 II 가 23.6%, 成分 III 이 11.4%를 說明하고 있어서 3個의 成分이 全變動의 83.4%를 說明한다.(표 3)

한편, 成分 IV 부터는 寄與率이 6.8% 以下로 減少하며, Eigenvalue 는 1 以下로 떨어져 있고, 各成分의 寄與率差異가 5% 以下로 減少하여 이들을 minor term 으로 看做된다.

各 變數의 主成分負荷量(principal compnent loadings)은 0.500 과 -0.500 을 基準으로 各成分에서의 卓越性(importance or strength)이 決定

28) 地質의 差異가 河系網에 미치는 影響에 對해서는 最近 懷疑的인 結果를 나타내는 研究가 많다. 代表的인 것으로,

Chorley, R. J. and Morgan, M. A., 1962, *ibid*, pp. 17~34.

島野安雄, 1978, "日本의 河川流域における 水系網의 特性について", 地理學評論, 第 51 卷, 第 10 号, pp. 776~784.

표 4. 主 成 分 行 列

VARIABLE	COMPONENT I	COMPONENT II	COMPONENT III	COMMUNALITY
VAR 01	0.96216	0.00046	-0.22390	0.97587
VAR 02	-0.54174	-0.50048	-0.16029	0.56965
VAR 03	-0.55372	-0.03053	0.74940	0.86914
VAR 04	-0.03402	0.20961	0.89775	0.85104
VAR 05	-0.17037	0.91190	-0.04366	0.86250
VAR 06	0.98437	0.05406	-0.07153	0.97701
VAR 07	0.78385	0.54539	-0.10970	0.92389
VAR 08	-0.08878	-0.64322	-0.27529	0.49740
VAR 09	0.94507	-0.22429	-0.17928	0.97561

된다. (표 4)

成分 I에서 높은 負荷量을 나타내는 變數는 流域面積( $x_1$ ), 流域形狀( $x_2$ ), 本流河道傾斜( $x_3$ ), 本流길이( $x_6$ ), 1次數河川數( $x_7$ ), 年平均流數量( $x_9$ )이다. 이 變數들은 주로 크기(size or magnitude)를 나타내고 있으며, 流域의 特性가운데 河川의 길이와 河川數가 流域面積, 年平均洪水量과는 正의, 本流河道傾斜와는 負의 相關關係가 높게 나타나고 있다는 것과 잘 一致한다. (표 2) 成分 I은 크기를 나타내는 Horton의 河川數法則과 하천길이법칙을 意味하는 dimension으로 看做된다.

成分 II에서 높은 負荷量을 보이는 變數는 流域形狀( $x_2$ ), 河系密度( $x_5$ ), 1次數河川數( $x_7$ ), 降雨強度( $x_8$ )이다. 流域形狀, 河系密度, 1次數河川數는 排水에 關係되는 變數로 判斷할 수 있으며, 降雨強度는 氣候의 變數이므로, 成分 II는 氣候와 排水를 나타내는 dimension으로 看做된다.

成分 III에서 높은 負荷量을 나타내는 變數는 主河道傾斜( $x_3$ )와 流域平均傾斜( $x_4$ )이다. 이들 두 變數가 代表하는 成分 III은 傾斜를 나타내는 dimension이다.

成分 I을 橫軸, 成分 II를 縱軸으로 하는 平面上에 變數가 나타내는 vector의 分布를 圖示하면 그림 2와 같다.

dimension 1에 해당하는  $x_1, x_2, x_7, x_9$ 의 變數들은 1·4象限의 右側 橫軸近處에 集結하며, dimension 2에 해당하는 變數( $x_2, x_5, x_8$ )는 2·3·4象限

의 原點가까이에 分布한다.

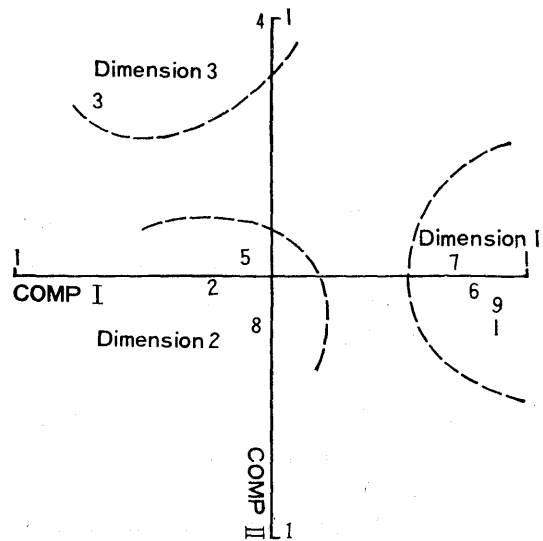


그림 2. 各變數의 成分 I 및 成分 II의 分析

dimension 3에 屬하는 變數( $x_3, x_4$ )는 2象限 上段에 分布한다. 이들 分布는 變數들의 패턴을 3개의 dimension으로 잘 反映시키고 있으며, 이러한 結果는 Gray(1961)와 Wong(1963)의 結果와 잘 一致하고 있다.<sup>29)</sup>

### (2) 回歸分析

地形學的인 變數를 分類할 때 地形·地質·植生·氣候等은 獨立變數로 流量과 流出의 特性(水深·流速等)은 從屬變數로 分類된다.<sup>30)</sup>

29) Gray D. M., 1961, "Interrelationships of watershed characteristics," *J. of Geophys. Research*, vol. 66, 1215~1223.

Wong, S. T., 1963, *ibid.* pp. 305~308.

30) Schumm, S. A., and Lichty, R. W., 1965, "Time, space, and causality in geomorphology", *Am. J. of Science*, vol. 263, pp. 110~119.

地形 및 氣候變數가 年平均洪水量에 미치는 영향을 分析하는 데에는 回歸分析이 適用될 수 있다. 本 研究에서는 年平均洪水量을 從屬變數로 하고 地形 및 氣候變數를 獨立變數로 하여 寄與率이 높은 變數順으로 段階的 重回歸分析(step wise multiple regression analysis)을 하고, 各各의 獨立變數와 年平均洪水量間의 關係를 살펴 보기 위하여 單純回歸分析을 實施하였다.

段階的 重回歸分析

段階別 回歸式을 살펴 보면 다음과 같다.

1 段階(Step 1)

$$Q_{2.33} = x_1^{0.962} \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

$$R : 0.962 \quad F_0 = 225.132 > F(1, 18; \alpha = 0.01) \\ = 8.28$$

$$R^2 : 0.925$$

1 段階에서 獨立變數는 流域面積( $x_1$ )이며, 變動率의 92.5%를 說明하고, F value는 有意水準 1%에서 有意하다.

2 段階(Step 2)

$$Q_{2.33} = x_1^{0.937} x_5^{-0.233} \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

$$R : 0.987 \quad F_0 = 323.867 > F(2, 17; \alpha = 0.01) \\ = 6.11$$

$$R^2 : 0.974$$

2 段階에서 獨立變數는 流域面積( $x_1$ ), 河系密度( $x_5$ )이며, 變動率의 97.3%를 說明하고, F value는 有意水準 1%에서 有意하다.

3 段階(Step 3)

$$Q_{2.33} = x_1^{0.977} x_5^{-0.196} x_2^{0.085} \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

$$R : 0.989 \quad F_0 = 2.55.779 > F(3, 16; \alpha = 0.01) \\ = 5.29$$

$$R^2 : 0.979$$

4 段階(Step 4)

$$Q_{2.33} = x_1^{0.728} x_5^{-0.165} x_2^{0.148} x_6^{0.293} \dots\dots\dots \textcircled{4}$$

$$R = 0.992 \quad F_0 = 244.75 > F(4, 15; \alpha = 0.01) \\ = 4.89$$

$$R^2 : 0.984$$

5 段階(Step 5)

$$Q_{2.33} = x_1^{0.558} x_5^{-0.126} x_2^{0.164} x_6^{0.482} x_8^{0.076} \dots \textcircled{5}$$

$$R : 0.994 \quad F_0 = 219.972 > F(5, 14; \alpha = 0.01) \\ = 4.69$$

$$R^2 : 0.987$$

6 段階(Step 6)

$$Q_{2.33} = x_1^{0.590} x_5^{-0.134} x_2^{-0.161} x_6^{0.453} x_8^{0.232} x_4^{0.029} \dots\dots\dots \textcircled{6}$$

$$R : 0.994 \quad F_0 = 180.562 > F(6, 13; \alpha = 0.01) \\ = 4.62$$

$$R^2 : 0.988$$

7 段階(Step 7)

$$Q_{2.33} = x_1^{0.583} x_5^{-0.131} x_2^{0.160} x_6^{0.456} x_8^{0.079} x_4^{0.033} x_3^{-0.006} \dots\dots\dots \textcircled{7}$$

$$R : 0.994 \quad F_0 = 142.99 > F(7, 12; \alpha = 0.01) \\ = 4.65$$

$$R^2 : 0.988$$

以上の 段階別 重回歸式을 살펴보면, 2 단계에서 變動率의 97.2%를 說明하고 3 단계 이후의 變動說明率은 增加의 幅이 急激히 減少하고 있다. 이러한 分析結果, 洪水量決定에 있어서 가장 重要な 變數는 流域面積( $x_1$ ), 河系密度( $x_5$ )라는 事實을 알 수 있다.

한편 年平均洪水量과 各 地形 및 氣候變數 사이의 單純回歸分析 結果는 表 5와 같다. 여기에서 除外된 變數는 有意水準 1%에서 棄却된 것이다. ( $F(1, 18; \alpha = 0.01) = 8.28$ )

위의 分析結果, 變動率 80% 이상을 설명하는 變數는 流域面積과 本流길이로 나타난다. 이 두 變數가 年平均洪水量과 밀접한 關係를 나타내는

표 5. 洪水流量과 地形變數의 回歸式

Variable	Regression Equation	Statistics
Drainage area	$Q_{2.33} = x_1^{0.962}$	R : 0.962 $F_0 = 222.954$ $R^2 : 0.922$
Main channel slope	$Q_{2.33} = x_3^{-0.65}$	R : 0.650 $F_0 = 13.142$ $R^2 : 0.422$
Length of main stream	$Q_{2.33} = x_6^{0.928}$	R : 0.928 $F_0 = 112.27$ $R^2 : 0.862$
Magnitude of first order stream	$Q_{2.33} = x_7^{0.662}$	R : 0.662 $F_0 = 14.055$ $R^2 : 0.438$



反面에 流域形狀, 傾斜等은 流水量과의 關係가 비교적 낮은 것으로 思料된다.

#### 4. 結 論

以上에서 河川地形, 降雨強度, 洪水流量的 變數들에 對한 主成分分析과 回歸分析의 結果는 다음과 같다.

(1) 變數의 패턴은 3個의 dimension 으로 分類된다.

成分 I 은 全變動의 49.0%를 說明하고 있으며, 流域面積, 流域形狀( $x_2$ ) 本流河道傾斜, 本流길이, 1次數河川數, 年平均洪水量이 높은 相關을 나타내어 成分 I 은 크기(Size or Magnitude)를 나타내는 dimension 으로 看做된다.

成分 II 는 全變動의 22.1%를 說明하고, 이 成分에서 높은 成分 負荷量을 보이는 變數는 降雨強度, 流域形狀, 河系密度, 1次數河川數로서 降雨와 排水關係를 意味하고 있다.

成分 III 은 全變動의 14.0%를 說明한다. 높은 負

荷量을 갖는 變數는 本流河道傾斜와 流域平均傾斜로서 成分 III 은 Horton의 河川傾斜의 法則을 나타내는 dimension 으로 볼 수 있다.

(2) 年平均洪水量( $Q_{2.33}$ )과 河川地形·氣候變數 사이에는 높은 有意性을 나타내는 重回歸式 ①~⑦로 그 關係가 表現되며, 獨立變數의 數는 變動 說明率 97.4%線에서 流域面積, 河系密度의 2個로 限定할 수 있다. 年平均洪水量과 各 地形 및 氣候變數의 單純回歸分析에서 有意水準 1%에서 採擇되는 變數는 流域面積, 本流面積, 本流河道傾斜, 河系密度, 本流길이, 1次數河川數이고, 變動率 80%以上을 說明하는 效果的인 變數는 流域面積과 本流길이 뿐이다.(표 5)

(3) 地形變數는 水文學에서 一般的으로 使用하는 方法에 依해서 地形圖에서 計測되고 航空사진에서 點檢되었기 때문에 野外調査를 통해서만 發見할 수 있는 해당 하천의 地形現象은 本研究에서 考慮할 수 없었다. 또한 地質狀態, 地表貯水面積, 植生, 土壤은 分析에서 除外시켰다.

# A Statistical Model for Evaluating Parameters Affecting Mean Annual Flood of 3 Great Basins in Korea

Keun Bai You\*

## Summary

The purpose of this study is to show the internal patterns of topographic characteristics and climatic factors which affect flood runoff and to construct the statistical model for predicting mean annual flood in Han, Nakdong and Geum River Basin, by means of principle component analysis and multiple regression analysis.

The analyzed variables are (1) Drainage Area, (2) Basin Shape, (3) Main Channel Slope, (4) Average Land Slope, (5) Drainage Density, (6) Length of Main Stream, (7) Magnitude of First Order Stream, (8) Precipitation Intensity, and (9) Mean Annual Flood.

The variables of topographic characteristics were measured from 1 : 50,000 topographic maps and checked on 1 : 37,500 airphotos. The data of runoff were gathered at 20 observation posts in 3 Basins over a period of 27 years(1952~1979).

And data on rainfall were expressed in unit area per unit time (mm/sec) for 24-hour duration over a period of 27 years.

The results of this study are as follows.

(1) The variables are classified into three dimensions. The first three principle components account for 83.4% and the first component, 48.4% of total variance. The variables which are significantly correlated with the first component are; drainage area, basin shape, main channel slope, length of main stream, magnitude of first order stream, and mean annual flood. The first component is thought to represent a size

dimension in conformity with Horton's law of stream numbers and stream lengths.

The second component accounts for 23.6% of total variance. The variables which have high loadings in this component are basin shape, drainage density, magnitude of first order stream, and precipitation intensity. They suggest that the second component represents a weak dimension of climate.

The third component accounts for 11.4% of total variance. The variables that are highly associated with this component are main channel slope and average land slope. The third component reveals clearly the slope dimension.

(2) The relation between mean annual flood and other variables is represented as follows;

$$Q_{2.33} = 3.177x_1^{0.934}x_5^{-0.223}$$

$$R : 0.987, R_2 : 0.974, F_0 = 323.867$$

This multi-regression equation accounts for more than 97% of total variance. An F-test indicates that drainage area and drainage density contribute significant addition to the explanation of variations in the dependent variable at 1% level of significance.

In simple regression analysis between mean annual flood and each variable of topographic characteristics and rainfall intensity, the variables which are accepted at 1% level of significance are; drainage area, main channel slope, drainage density, length of main stream and magnitude of first order stream. Especially, each of drainage area and length of main stream accounts for more than 80% of total variance.