

# 流域의 河川形態學의 特性과 水理幾何學의 特性과의 相關性

Correlations between the Stream Morphological Characteristics and the Hydraulic Geometry Characteristics for the Basin

安 相 鎭\*  
Ahn, Sang Jin  
尹 龍 男\*\*  
Yoon, Yong Nam  
姜 瑄 沅\*\*\*  
Kang, Kwan Won

## Abstract

The stream morphological characteristics of a river basin has a close correlation with the hydrological and hydraulic characteristics of the basin. In this study the correlations of flow duration and Hydraulic geometry with the stream morphological characteristics as well as the correlation between flow duration and hydraulic geometry were analyzed bases on the data for the Geum River basin. The purpose of this study was to provide the necessary informations for water utilization projects at ungauged locations along the river course.

First of all, the stream morphological characteristics was analyzed based on the Horton's three laws on the morphology of a stream that is, the law of stream number, the law of average stream length and the law of average stream slope. As is the case for majority of the rivers it was found that the Geum River basin was well developed according to the Horton's laws. High correlations were also found between the basin characteristics and the channel characteristics.

The flow duration curves obtained with the daily stream flow data of 10~90 % frequency of occurrences at the five stage gauging stations in the Geum River could, in general, be expressed as an exponential functional relationship. The concept of proportional stream ordering system was employed to describe continuously the longitudinal variation of the stream morphological characteristics, and the mathematical model was formulated for the discharge-frequency-proportional stream order relationship.

With the morphological characteristics as a common parameter the relationships with flow duration, drainage area were established in mathematical expressions, respectively.

## 要 旨

河川形態學의 特性은 流域의 水文學의 特性 및 水理學의 特性과 密接한 關係를 가진다.

\* 正會員·忠北大學校 工科學 副教授

\*\* 正會員·陸軍士官學校 工學處 教授

\*\*\* 正會員·仁荷大學校 工科學 教授

本 研究에서는 河川形態學의 特性과 頻度流量 및 水理幾何의 關係 그리고 頻度流量과 水理幾何學의 特性間의 相關性을 錦江水系를 對象으로 分析하였으며, 이들 研究의 目的은 未計劃地點에 대한 利水計劃을 樹立하는데 필요한 資料를 提供하는데 있다.

錦江水系의 河川形態學의 特性分析은 Horton의 河川次數概念을 利用하여 河川地形의 3大法則에 의거 分析하였으며 分析結果는 Horton의 法則과 잘 一致하였다.

錦江水系內의 5個 水位標地點에서 生起頻度 0.1~0.9의 流量資料를 使用하여 얻은 各地點의 流量頻度曲線은 大體로 指數關係로 表示할 수 있었다.

河川形態學의 特性을 連續的으로 表示하기 위하여 比例河川次數를 導入하였으며 이를 利用하여 流量-生起頻度-比例河川次數間의 關係에 대한 數學的 模型을 定立하였다.

流域의 河川形態學의 特性을 媒介變數로 하여 頻度流量과 水理幾何學의 因子間의 關係, 流域面積과 水理幾何學의 因子間의 關係를 分析하여 各各에 대한 數學的 模型을 提案하였다.

## 1. 序 論

降水가 大氣中에서 地上으로 떨어져 流出過程을 形成하게 되며 流出過程이 進行되는 流域은 河川網으로 構成되는 水系를 가지며 分水界에 의해서 水系가 決定되고 그 水系의 規模에 따라서 크고 작은 流域이 定해진다.

水系는 氣候學的 및 地相學的의 影響을 받아 서서히 變化하고, 氣候學的 因子인 降水에 의해 끊임없이 浸蝕, 運搬, 推積의 作用을 받아 平衡狀態를 이루며 幼年期, 壯年期 및 老年期 等の 地相學的 發達 過程을 가진다.

그러므로 水系內의 河川網은 그 流域의 地相學的 因子(physiographic factor)와 氣候學的 因子(climatic factor)의 影響을 받아 形成된 產物이라 할 수 있다. 따라서 한 流域으로부터의 流出現象도 流域特性 因子와 氣候學的 因子의 影響을 받게 되므로 한 流域의 河川形態學的 特性도 이들 因子와 密接한 相關性을 가진다고 볼 수 있다.

河川形態學에 관한 大部分의 研究結果는 約 30餘年전만하더라도 實際的인 工學分野에 매우 제한된 範圍內에서 基礎的인 記述에 限定되어 있었다. 그러나 Horton<sup>(5)</sup>에 의한 河川次數概念은 自然河川의 河川網을 量的으로 叙述하기 위한 것이었다. 自然河川의 河川網構成은 大端히 複雜하기 때문에 河川網의 發達을 確率論的으로 記述하기 위한 推計學的 方法이 많은 研究者에 의하여 提示되어 왔다.

한편 大小支流 및 本流流域이 가지는 各種 形態的 特性을 量的으로 分析하여 이들 形態學的 特性이 水系內에서 어떻게 變動하는가를 究明하고, 水位標地點에서 頻度流量(flow duration)과 河川形態學的 特性因子와의 關係를 數學的 模型으로 나타냄으로서 未計測地點의 頻度流量을 推定할 수 있는 根據를 얻을 수도 있을 것이다. 또한 河床의 長期的 變動趨勢를 形態學的 理論에 입각하여 分析할 수 있는 基礎를 마련하고 未計測地點의 各種 水理幾何學的 特性因子를 概算할 수 있을 것이다.

따라서 이와 같은 分析은 錦江水系를 對象으로 分析糾明하고자 한다.

## 2. 研究의 背景

河川形態學에 관한 大部分의 研究는 水系의 形態學的 特性을 定性的 혹은 叙述的으로만 表現하여 왔으나 Horton<sup>(4,5)</sup>이 提案한 次數概念을 始點으로 數學的이고 定量的으로 發展하게 되었으며 그중 Horton<sup>(5)</sup>은 河川의 水系를 河川次數, 排水密度, 河川分岐率, 河川延長比를 量的으로 表示하였고 그 水系에서 河川次數를 函數로하여 河川數의 法則과 河川平均延長의 法則을 發表하여 많은 水工學者들에게 有用한 資料로 提示되어 왔다. 그후 Horton의 研究는 Strahler<sup>(27-35)</sup>를 中心으로 한 美國 Columbia大學派에 의하여 體系化되어 왔다. Strahler<sup>(35)</sup>는 河川次數에 대한 河川延長, 排水密度, 水路維持常數, 流域의 周邊과 起伏量들은 線型으로 表示가 可能하며, 河

川次數, 河川延長比 등 河川形態學의 特性因子들은 無次元으로 表示가 可能함을 밝혔다. Smart<sup>(23)</sup>는 河川數의 法則, 河川延長의 法則, 流域面積의 法則들을 數式으로 表示하는 方法을 提示하였으며, Shreve<sup>(21, 22)</sup>는 Horton의 河川數의 法則을 利用하여 河川網에 대한 統計學의 法則을 發表하였으며, 地形法則의 媒介變數를 利用하여 河川縱斷을 理論적으로 表示하는 方法을 講究하였다. Liao와 Scheidegger<sup>(13, 14)</sup>는 河川延長과 流域面積을 理論적으로 計算할 수 있는 數學的 模型을 開發하였고 이것을 任意支流型에 利用할 수 있도록 Computer模型을 開發한 바 있다. Chapman<sup>(1)</sup>은 地形의 性質을 나타내는 數를 幾何學의 圖式으로 表示하는 한 새로운 方法을 提案하였고, Coates<sup>(2)</sup>는 美國 Indiana 洲의 10 流域에 대하여 河川形態學의 特性因子를 길이次元으로서 表示하였으며 Grey<sup>(8)</sup>는 次元解析을 應用하여 單位圖의 特性과 地形學的 및 形態學的 性分과를 比較한 결과 正確한 結果를 얻어냈다. Yang<sup>(37)</sup>은 熱力學을 應用하여 水系의 形成을 支配하는 것은 河川平均低下의 法則과 에너지 소멸의 最小率의 法則임을 알았다. 따라서 流域의 陷沒度는 水系를 形成하는 確定的 因子로 나타낼 수 있었다. 그래서 Horton의 法則과 河川平均低下의 法則을 근거로 河川縱斷을 表記하는 方法을 提示하고 있다. Schumm<sup>(20)</sup>은 Horton의 河川延長의 法則을 基礎로 流域面積의 法則(law of drainage area)을 처음 發表하였다. 이 法則은 Horton의 3大法則처럼 어떤 流域의 流域面積은 河川次數와 指數函數關係가 있다고 밝혔다. Morisawa<sup>(17)</sup>는 美國 Appalachia 地域의 代表流域特性研究에서 河川의 平均延長과 流流面積을 全對數紙에 表示해본 결과 거의 直線에 가까운 結果를 얻었다.

Langbein<sup>(11)</sup>과 Strahler<sup>(35)</sup>는 面積과 高度關係 曲線에서 流域의 地形에 대한 洪水效果나 地形浸蝕을 研究하는데 매우 有効한 方法을 提함으로서 地質學的 發達過程을 說明하는데 도움을 주었다. Yang & Stall<sup>(38)</sup>은 同一水系에서 서로 다른 두 縮尺을 利用하여 河川形態學의 特性因子에 미치는 地圖縮尺의 影響을 考察하였으며, 形態學的 媒介變數를 利用하여 河川의 縱斷을 算定하는 方法을 提示하였다. 그밖에 Golding &

Low<sup>(6)</sup>는 流域面積의 物理的 特性을, Melton<sup>(16)</sup>은 氣候要素와 地表性分 및 地形形態學 사이의 關係分析을 Miller<sup>(37)</sup>는 Clinch山間地域과 버어지니아 및 테네시地方의 流域特性에 관한 形態學의 特性을 定量的으로 分析하였다. Masashi Nagao<sup>(18)</sup>는 洪水流出의 效果에 의한 流域의 河川形態學의 特性을 研究한 바 있다.

한편 河川의 形態學의 特性과 水路의 特性을 나타내는 水理幾何學의 特性을 연구한 結果를 살펴보면 水系의 순수한 形態學의 特性研究와 併行하여 河道의 水理學의 特性 및 河川形態學의 特性을 地點流量에 相關시키고자 Leopold와 Maddock<sup>(12)</sup>은 水系任意地點에서의 流量과 그에 해당하는 水理幾何學의 因子間的 關係를 樹立해 본 결과 對數函數關係가 있음을 밝혔다. Stall과 Fok<sup>(26)</sup>은 水路의 特性을 처음으로 水理幾何學이란 말로서 나타내어 水路의 特性을 圖表나 方程式으로 表示하였고 河川特性을 流域面積의 函數로 頻度率量과 相關시켰으며 流速을 水理幾何學의 因子의 方程式으로 計算하는 方法을 提示하였다. Stall과 Yang<sup>(24, 25)</sup>은 水理幾何學의 因子와 單位河川의 힘(unit stream power)과의 關係를 方程式으로 表示하였으며, 水理幾何學의 因子를 얻는데 流量의 生起頻度和 流域面積을 相關시켜 水系全體의 特性을 나타내는 方程式으로 表示하였고, 河川平均低下의 法則과 energy 소멸의 最小率의 法則을 유도하여 河川理論縱斷과 河川平衡縱斷을 計算하였다. Leopold와 Maddock<sup>(12)</sup>은 水路의 水理學의 特性因子인 河幅, 水深, 流速, 浮遊砂量 등을 流量과 相關시켜서 指數函數로 나타내 주었다. Morisawa<sup>(17)</sup>는 水系의 各種 特性 및 力學的 諸問題에 관하여 大端히 具體적이고 精巧한 展開를 했으며, 最近에 와서는 急傾斜水路의 水理學의 特性에 관한 重要한 研究가 Judd와 Peterson<sup>(9)</sup>에 의하여 發表된 바 있다. Hedman<sup>(3)</sup>은 年平均流出量算定을 위하여 水路의 水理幾何學의 因子인 河幅과 水深을 函數로 複合回歸分析에 의하여 數學的 模型을 開發하였다. 그 외에 Langbein<sup>(10)</sup>이 水路의 幾何學에 관한 研究를 하였으며 Riggs<sup>(19)</sup>는 水路크기로부터 流量特性을, Maria<sup>(15)</sup>는 流域의 地相學의 特性과 流量特性과의 相關性을 統計分析에 의해 研究한 바

있다.

우리나라의 河川形態學에 관한 研究는 建設部가 4大江 流域綜合開發計劃의 一環으로 漢江, 洛東江, 錦江 및 榮山江流域의 形態學의 特性分析을 위한 基礎調査를 實施한 바 있으며<sup>(36,39,40)</sup>, 洛東江水系에 대한 地形因子와 比流量에 관한 研究<sup>(45)</sup>를 治水的 觀點에서 다룬바 있으며, 漢江水系에 대한 河川形態學의 特性과 頻度流量과의 相關性<sup>(44)</sup>이란 研究에서 利水的 觀點에서 利水計劃樹立에 必要한 많은 資料를 提供해 주었으며 小河川水系의 流域特性에 관한 研究<sup>(41,43)</sup>에서 小河川水系의 河川形態學의 特性을 규명하바 있다.

### 3. 資 料

#### 3.1 流域의 形態學의 特性과 水理幾何學의 資料

水系의 形態學의 特性資料인 河川次數(stream order), 河川數(stream number), 各 河川次數의 平均延長(average length) 및 平均傾斜(average slope), 支流 또는 本流의 流域面積 등은 建設部 國立地理院에서 製作한 1:50,000의 地形圖로부터 直接 획득하였으며, 錦江流域 全體를 포함하기 위해서는 31枚의 地形圖가 필요하였다.

水理幾何學의 特性分析을 위한 資料로는 水面幅( $W$ ), 水理平均深( $D$ ), 橫斷面積( $A_c$ ), 平均流速( $V$ ) 및 流量( $Q$ )이다. 水面幅은 各 水位標地點의 橫斷面圖에 의해서 決定되며, 水理平均深( $D$ )은  $D=A_c/W$ 로서 얻어진다. 여기서 橫斷面積의 資料는 錦江河川整備基本計劃<sup>(46)</sup>을 위한 實測圖面과 建設部 流量臺帳<sup>(48)</sup>의 圖面을 利用하여 얻었다.

#### 3.2 流量資料

錦江水系內 水位와 流量을 併行하여 測定한 6個 水位標地點 中 流量測定 資料가 不明確한 河川地點을 除外한 5個 水位標地點을 上流로부터 下流에 이르기까지 竝고루 擇하여 水位-流量關係曲線을 얻었다. 河川形態學의 特性과 頻度流量 및 水理幾何學의 因子와의 相關關係解析에 필요한 日流量資料는 5個 水位標地點에서 10年間의 水位記錄에서 얻었다. 水位資料는 韓國水文調查年報<sup>(47)</sup>를 引用하였으며, 水位-流量關係曲線은 建設部の 流量臺帳<sup>(48)</sup>의 資料와 韓國水文調查年報의 流量測定成果資料를 利用하여 各 水位標地

點別로 決定하였다.

그림 1은 錦江流域全體를 나타내는 流域圖로서 流域內 本 研究에서 使用한 5個 水位標地點도 表示하고 있다.

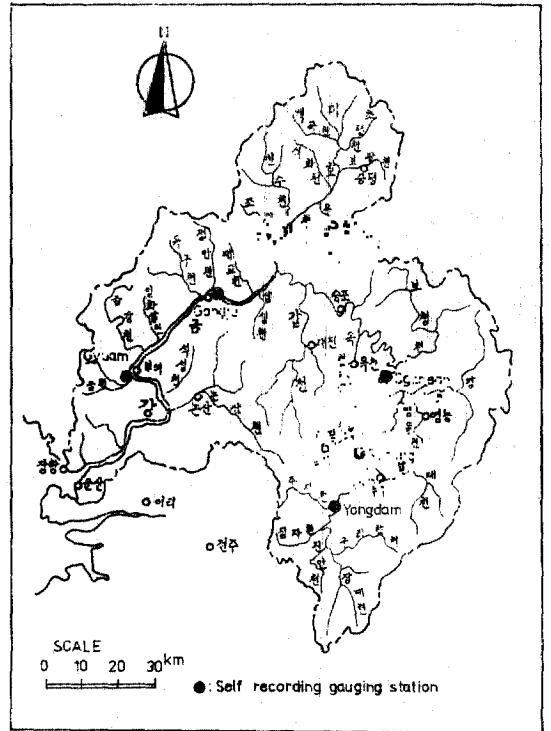


그림 1. Geum River Basin Map with the Selected Stage Gauging Station

### 4. 資料의 分析 및 結果

#### 4.1 河川의 形態學의 特性

##### 4.1.1 Horton의 河川地形의 法則

河川次數의 概念은 Horton<sup>(5)</sup>이후 Strahler 等に 의하여 修正되어 왔으나 河川次數를 表示하는 一般의인 方法인 美國式 system을 利用하였다. Strahler<sup>(35)</sup>에 의하면 1次河川은 支流를 가지지 않는 溪流(torrent)를 뜻한다. 이들 1次河川 2個가 만나면 2次河川이 되고, 2次河川과 2次河川이 만나면 3次河川이 되며,  $n$ 次河川과  $n$ 次河川이 만나면  $(n+1)$ 次河川이 되나  $n$ 次河川보다 작은 次數의 河川이 만나면 次數에는 變함이 없는 河川次數가 된다. 이와 같이 결정한 各 河川次數가 河川數, 河川平均延長 및 河川平均

傾斜 等과 比例한다고 볼 때 다음式으로 表示할 수 있다<sup>(5,37)</sup>.

$$\ln N_u = A - Bu \quad (1)$$

$$\ln L_u = C - Du \quad (2)$$

$$\ln S_u = E - Fu \quad (3)$$

여기서  $N_u$ 는  $u$ 次河川의 數,  $L_u$ 는  $u$ 次河川의 平均延長,  $S_u$ 는  $u$ 次河川의 平均傾斜이며,  $A, B, C, D, E$  및  $F$ 는 流域特性에 따라 各各 決定되는 常數이다. 式 (1), (2) 및 (3)은 河川次數가 河川數, 河川의 平均延長 및 河川의 平均傾斜와 指數函數關係가 있음을 뜻하며, 式 (1)을 河川數

의 法則(law of stream number), 式 (2)을 河川 平均延長의 法則(law of average stream length) 式 (3)을 河川平均傾斜의 法則(law of average stream slope)이라 한다.

式 (1), (2), (3)의 分析을 위하여 國立地理院 發行의 1 : 50,000地形圖를 使用하였으며 本水系에 대한 河川次數, 河川數, 河川의 平均延長 및 平均傾斜를 美湖川과 上流 및 下流로 나누어서 나타내면 表 1, 2, 3과 같다. 이들 資料中 表 3의 錦江全流域에 대한 資料로 河川次數에 대한 河川數, 河川의 平均延長 및 河川平均傾斜를 圖

表 1. 美湖川水系的 形態學的 特性因子(1 : 50,000)

支流流域名			特性因子		河川次數					
					1	2	3	4	5	6
백	죽	천	$N$	74	15	3	1			
			$L$	0.86	1.81	3.10	17.7	—	—	
			$S \times 10^2$	8.48	2.81	1.20	0.57			
초	평	천	$N$	81	16	5	1			
			$L$	0.90	1.91	2.78	35.0	—	—	
			$S \times 10^2$	6.30	3.30	0.54	0.28			
보	강	천	$N$	116	28	6	2	1		
			$L$	0.87	1.48	2.31	2.45	11.6	—	
			$S \times 10^2$	7.53	2.86	1.41	0.47	0.09		
석	화	천	$N$	47	12	4	1			
			$L$	0.99	1.89	1.90	9.25	—	—	
			$S \times 10^2$	6.32	2.40	0.50	0.32			
무	십	천	$N$	90	22	3	1			
			$L$	1.55	2.34	8.27	9.50	—	—	
			$S \times 10^2$	6.47	1.37	0.47	0.21			
천	수	천	$N$	212	41	8	3	1		
			$L$	0.87	1.73	5.96	6.57	26.5	—	
			$S \times 10^2$	6.68	1.53	1.51	0.32	0.18		
조		천	$N$	95	23	6	1			
			$L$	0.87	1.35	3.78	22.7	—	—	
			$S \times 10^2$	8.58	2.57	0.70	0.18			
미	호	천(분류)	$N$	319	71	21	5	1	1	
			$L$	1.08	1.81	3.75	4.02	30.00	39.6	
			$S \times 10^2$	7.75	2.05	0.85	0.50	0.16	0.12	
미	호	천 전 수 계	$N$	1034	228	56	15	3	1	
			$L$	1.00	1.77	3.90	9.25	22.70	39.60	
			$S \times 10^2$	7.26	2.36	0.90	0.36	0.14	0.12	

註:  $N$ : 河川數(本),  $L$ : 河川延長(km),  $S$ : 河川平均傾斜(m/m)

表 2. 錦江 上流部 水系의 形態學的 特性因子(1 : 50,000)

支流流域名		特性因子		河川天數						
		1	2	3	4	5	6	7		
장 계 천	N	67	15	6	2	1				
	L	1.49	1.02	1.83	4.20	5.50				
	S×10 <sup>2</sup>	10.13	9.73	1.27	0.89	0.36				
구 리 향 천	N	102	20	5	1					
	L	1.10	1.27	5.75	24.60					
	S×10 <sup>2</sup>	14.45	12.06	1.89	1.21					
진 안 천	N	52	16	3	1					
	L	1.10	1.62	3.57	10.50					
	S×10 <sup>2</sup>	9.89	3.98	1.31	0.38					
정 자 천	N	95	19	5	1					
	L	0.81	1.76	4.4	21.20					
	S×10 <sup>2</sup>	18.61	5.75	2.78	0.56					
주 자 천	N	115	20	6	1					
	L	0.87	1.83	2.53	21.20					
	S×10 <sup>2</sup>	14.88	5.48	1.49	1.13					
남 배 천	N	243	45	10	3	1				
	L	1.03	2.21	4.22	11.33	26.90				
	S×10 <sup>2</sup>	17.93	5.73	1.77	0.84	0.81				
봉 황 천	N	287	76	16	4	1				
	L	0.65	1.21	2.36	7.65	14.00				
	S×10 <sup>2</sup>	17.01	5.58	2.01	0.57	0.28				
영 동 천	N	107	26	7	2	1				
	L	0.88	1.65	3.55	2.80	8.53				
	S×10 <sup>2</sup>	12.55	6.65	1.40	0.36	0.23				
초 강	N	432	101	22	4	1				
	L	0.81	1.25	4.06	10.40	44.25				
	S×10 <sup>2</sup>	18.74	7.30	3.10	0.77	0.3				
보 청 천	N	335	80	21	5	1				
	L	0.86	1.62	7.42	6.61	48.30				
	S×10 <sup>2</sup>	18.47	4.99	1.11	0.54	0.12				
옥 천 천	N	136	30	5	1					
	L	0.90	1.73	4.82	34.50					
	S×10 <sup>2</sup>	13.07	1.49	1.37	0.33					
갑 천	N	558	134	33	9	2	1			
	L	0.78	1.46	2.87	4.04	32.00	12.20			
	S×10 <sup>2</sup>	13.48	3.58	1.44	0.75	0.23	0.07			
상 류(본 류)	N	878	195	39	6	1	1	1		
	L	0.96	1.69	4.12	3.53	64.75	132.70	16.40		
	S×10 <sup>2</sup>	9.46	3.37	1.66	1.36	0.22	0.12	0.30		
상 류 전 수 계	N	3407	777	178	40	9	2	1		
	L	0.89	1.54	4.02	8.02	30.69	72.45	16.40		
	S×10 <sup>2</sup>	13.13	5.59	1.74	0.67	0.32	0.10	0.30		

表 3. 錦江 下流部 水系의 形態學的 特性因子(1 : 50,000)

支流域名		特性因子		河川次數							
				1	2	3	4	5	6	7	
삼	성	천	N	34	8	2	1				
			L	0.73	0.72	1.70	6.50				
			S×10 <sup>2</sup>	5.29	1.81	1.37	0.38				
용	수	천	N	43	12	3	1				
			L	1.17	1.43	4.97	7.60				
			S×10 <sup>2</sup>	9.08	2.84	1.06	0.27				
대	교	천	N	63	12	2	1				
			L	0.65	1.69	3.80	11.00				
			S×10 <sup>2</sup>	7.76	2.40	1.07	0.18				
정	안	천	N	106	24	7	1				
			L	0.94	1.49	3.09	17.40				
			S×10 <sup>2</sup>	9.80	3.06	1.03	0.68				
유	구	천	N	190	64	12	4	1			
			L	0.76	1.17	2.77	4.65	31.30			
			S×10 <sup>2</sup>	14.40	11.79	1.72	1.63	0.25			
용	성	천	N	34	8	2	1				
			L	0.89	0.65	2.80	7.20				
			S×10 <sup>2</sup>	4.32	1.94	0.55	0.18				
안	심	천	N	30	6	2	1				
			L	0.67	0.75	5.50	2.50				
			S×10 <sup>2</sup>	10.17	3.40	1.40	0.20				
도	성	천	N	28	5	1					
			L	0.94	2.22	6.80					
			S×10 <sup>2</sup>	5.01	1.16	0.29					
일	회	단	천	N	26	5	1				
				L	0.83	2.50	12.50				
				S×10 <sup>2</sup>	5.65	1.57	0.81				
금	강	천	N	124	27	7	1				
			L	0.91	1.88	3.49	37.40				
			S×10 <sup>2</sup>	6.10	2.14	1.75	0.21				
은	산	천	N	21	6	2	1				
			L	1.56	2.47	6.70	2.20				
			S×10 <sup>2</sup>	4.07	1.73	0.39	0.09				
금	성	천	N	56	13	2	1				
			L	1.24	1.72	16.15	6.20				
			S×10 <sup>2</sup>	6.42	5.52	0.36	0.01				
석	정	천	N	95	27	6	1				
			L	0.58	1.86	3.17	12.50				
			S×10 <sup>2</sup>	3.17	0.87	0.27	0.01				
논	간	천	N	434	97	27	6	3	1		
			L	0.88	1.48	4.04	5.78	13.20	90.40		
			S×10 <sup>2</sup>	12.68	3.90	1.36	0.40	0.10	0.03		

부	목	천	$N$	22	7	2	1							
			$L$	1.23	4.21	6.77	4.50							
			$S \times 10^2$	8.34	0.97	0.08	0.06							
길	산	천	$N$	54	12	4	1							
			$L$	0.85	1.63	3.13	18.50							
			$S \times 10^2$	10.00	1.50	0.89	0.04							
하	류(본	류)	$N$	309	69	17	2			1				
			$L$	0.98	2.16	3.71	2.80			69.30				
			$S \times 10^2$	4.39	1.49	0.33	0.24			0.02				
하	류	전	수	계	$N$	1669	402	99	24	4	1	1		
					$L$	0.89	1.66	4.08	8.02	17.73	90.40	69.30		
					$S \times 10^2$	7.45	2.83	0.87	0.31	0.18	0.03	0.02		
급	강	수	계	전	유	역	$N$	6110	1407	333	79	16	4	1
							$L$	0.91	1.61	4.02	8.25	25.95	68.73	85.70
							$S \times 10^2$	9.28	3.59	1.17	0.45	0.21	0.08	0.02

示하면 그림 2 와 같다.

그림 2에서 알 수 있듯이 河川次數와 河川數, 河川延長 및 河川傾斜와의 관계는 거의 直線의 인 관계가 있으므로 河川次數概念에 의한 地形의 大法則이 錦江水系에도 適用됨을 나타내 주었으며, 이는 錦江水系도 一定한 規則性을 가지고 發達되어 있음을 證明해 주고 있다.

#### 4.1.2 流域面積과 比例河川次數

河道의 水源으로부터 下流方向으로 갈수록 流域面積은 점차적으로 增加한다는 것은 明確한 事實이다. Horton-Strahler<sup>(5,35)</sup>의 河川次數概念에 의하면 河川次數도 河口方向으로 갈수록 커지는 것으로 定義되고 있다.

따라서 流域面積과 河川次數는 어떤 相關性이 있음을 알 수 있다. 그러므로 Schumm<sup>(20)</sup>이 發表한 流域面積의 法則을 觀察해 보면 河川次數( $u$ )는 整數值만을 가지게 되어 있다. 이는 水系의 構成樣相을 不連續의으로 表現하고 있어 合流點에서만 水系의 發達相을 叙述할 뿐 나머지 合流點과 合流點間에 있어서의 變動을 전혀 고려하지 않은 결함이 있다. 그래서  $u_x$ 를 比例河川次數 (proportional stream order),  $u_x$ 는 Horton의 方法에 의한 河川次數,  $u_x$ 는 任意點( $x$ 點)에 있어서 河川次數,  $N_{1x}$ 는 水系의 任意點  $x$ 의 上流에 있는 1次河川의 總數,  $N_x$ 는  $x$ 點이 位置한 河川의 次數  $u_x$ 가 始作되는 點의 上流에 있는 1次河川의 總數,  $N_{1x}$ 는  $x$ 點이 位置한 河川의 次數  $u_x$

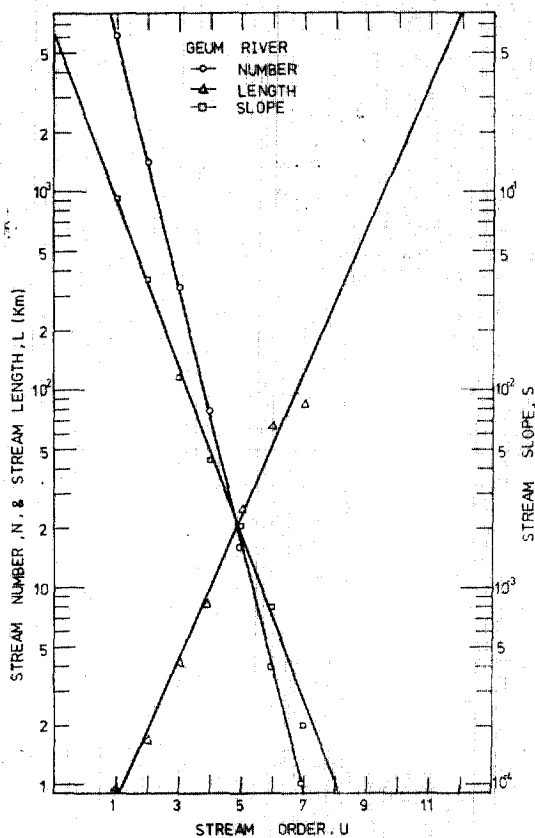


그림 2. Stream Order VS Stream Number, Length & Slope for Geum River Basin



가 끝나는 點의 上流에 있는 1次河川의 總數라고 하여 다음 式과 같이 修正하면 水系網의 連續의 表現이 可能할 것이다.

$$u_p = u_i + u_s = u_i + \frac{N_{1s} - N_{1i}}{N_{1r} - N_{1i}} \quad (4)$$

式 (4)로 定義되는 比例河川次數를 流域面積과 相關시킬 수 있다. 即

$$\ln A_s = p + qu_p \quad (5)$$

여기서  $p, q$ 는 地域別로 決定되는 常數이다.

式 (5)에 의해 計算된 比例河川次數와 流域面積의 關係를 小流域別로 나타낸 것이 表 4이다. 이것을 半對數紙에 表示해 본 결과 그림 3과 같이 直線에 가깝게 나타낼 수 있어서 式 (5)의 關係가 成立됨을 證明할 수 있다. 式 (5)에 流域面積과 比例河川次數의 資料로 回歸分析하여 常數  $p, q$ 를 求해본 결과  $-1.246$ 과  $1.244$ 로 나타났으며 두 變數間의 相關係數( $r$ )은  $0.905$ 로써 이들 값을 그림 3에 表示하였다.

表 4. 比例河川次數와 流域面積資料

美 湖 川															
$U_p$	2.25	3.45	3.81	4.33	4.43	5.38	5.40	5.95	6.06	6.35	6.99				
$A_s$	7.50	17.00	27.25	35.88	66.50	276.75	241.00	536.71	781.45	1,178.96	1,807.67				
甲 川															
$U_p$	2.67	2.71	3.76	3.65	4.61	4.77	5.04	5.59	5.70	6.49	6.79				
$A_s$	6.38	4.75	41.00	15.00	31.75	33.00	81.63	169.52	215.63	613.75	634.00				
論 山 川															
$U_p$	2.33	2.60	3.13	3.56	3.86	4.29	4.88	5.75	5.73	6.09					
$A_s$	6.16	8.16	18.50	18.63	54.25	87.13	46.75	163.00	197.25	538.75					
錦 江 本 流															
$U_p$	2.5	3.17	3.59	3.97	4.04	4.56	4.88	5.14	5.56	5.87	6.01	6.61	6.99	7.47	7.71
$A_s$	11.75	50.25	35.13	38.25	73.90	96.12	140.87	294.75	88.12	909.50	1,056.63	843.00	973.00	836.92	552.31

註:  $U_p$ : 比例河川次數,  $A_s$ : 流域面積(km<sup>2</sup>)

#### 4.1.3 流量頻度曲線의 作成

任意 水位標 地點에서 어떤 크기의 流量이 發生하는 頻度を 알기 위하여 流量頻度曲線(flow duration curve)을 作成하였다. 本 研究에서 使用한 5個 水位標地點의 日流量資料는 表 5와 같다. 여기에서 沃川地點은 流量測定資料의 貧弱으로 分析에서 除外하였다.

또한 채택된 期間동안의 缺測値는 日流量의 生起頻度計算에서 除外하였다.

一般으로 流量頻度曲線은 對數確率紙에 表示하면 全生起頻도에 걸쳐 直線에 가까워지나 이에 대한 數學的 模型이 複雜하므로 本 研究에서는 그림 4와 같은 比較的 數學的 表現이 간단한 半對數紙上에 日流量  $Q$ 와 流量頻度曲線의 百分率인 生起頻度  $F$ 를 表示해 본 결과 直線으로 나타나므로 다음 式으로 表示할 수 있다.

表 5. 使用된 日流量資料의 範圍

水位標地點	資料期間(年)	備 考
석  화	1966~1975	1965年部分缺測
용  담	1965~1974	
수  동	1965~1974	1971年缺 測
공  주	1966~1975	1965年部分缺測
규  암	1965~1976	

表 6. 流量頻度曲線의 回歸常數 및 相關關係

水位標地點	回 歸 常 數		相關係數
	$\alpha$	$\beta$	
석  화	4.389	3.352	0.988
용  담	4.056	3.086	0.998
수  동	5.482	3.840	0.998
공  주	5.556	2.548	0.993
규  암	5.528	2.357	0.992

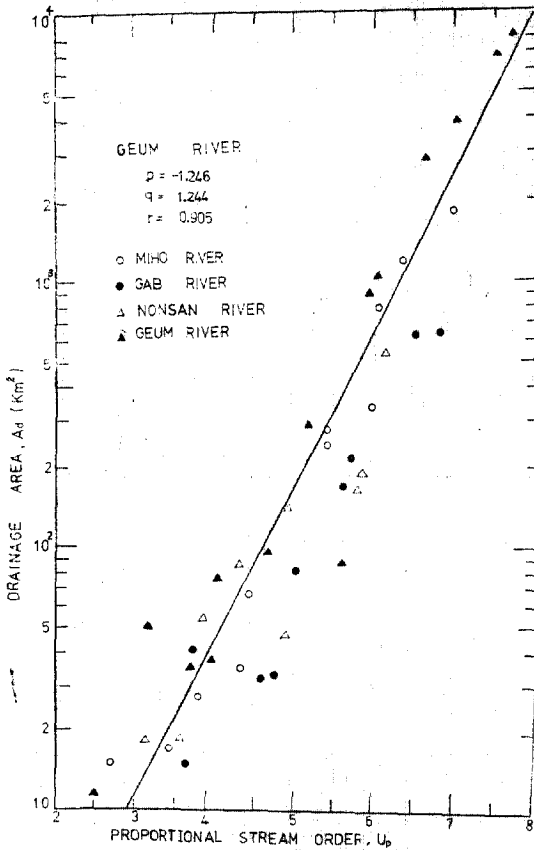


그림 3. Proportional Stream Order VS Drainage Area

$$\ln Q = \alpha - \beta F \quad (6)$$

여기서  $\alpha, \beta$ 는水位標別로 決定되는 常數로서 本 水系에 대한  $\alpha, \beta$ 는 最小自乘法의 回歸分析으로 決定하였으며  $Q$ 와  $F$ 간의 相關係數  $r$ 과 함께 表 6에 表示하였다. 流量頻度曲線의 橫軸인 生起頻도와 流量간의 關係는 洪水流量과 濁水流量에 屬하는 流量을 除外한  $F=0.1\sim 0.9$ 에 대한 日流量만을 使用하여 式 (6)을 回歸分析하였다. 그림 4로부터 같은 頻度を 가진 日流量은 같은 水系의 上流로부터 下流로 갈에 따라 점점 커짐을 알 수 있으며, 각각의 水位標地點의 流量은 流量頻度曲線의 百分率인 生起頻度を 基準으로 서로 比較할 수 있다. 이는 後述하게 될 流域의 特性變數와 流量 및 生起頻度간의 相關關係解析에 基準이 될 것이다.

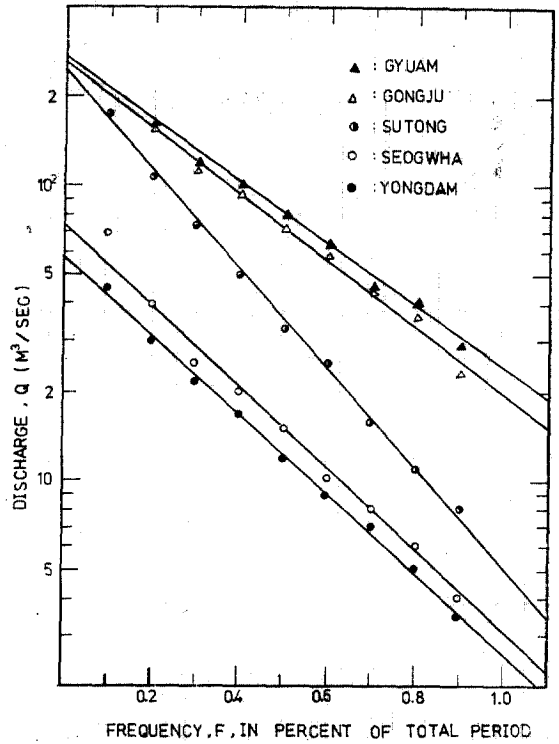


그림 4. Flow Duration Curve for Selected Stations

#### 4.2 河川의 水理幾何學의 特性

Leopold와 Maddock<sup>(18)</sup>에 의하면 水路의 重要한 水理學의 特性因子는 水面幅( $W$ ), 水理平均水深( $D$ ), 流速( $V$ )으로서 이들 因子를 流量과 相關시켜서 간단한 冪函數로 다음과 같은 表示하였다.

$$\left. \begin{aligned} W &= aQ^b \\ D &= cQ^f \\ V &= kQ^m \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

그러므로

$$A_c = acQ^{b+f}$$

여기서,  $A_c$ 는 橫斷面積(cross sectional area),  $a, b, c, f, k$  및  $m$ 은 常數이다.

그래서 水系의 水位標地點에서 流量( $Q$ )과 斷面積( $A_c$ ), 水面幅( $W$ ), 水理平均深( $D$ ) 및 流速( $V$ )은 全對數紙上에 plotting 함으로서 推定될 수 있다.

式 (7)을 本 水系에 適用하기 위하여 美湖川

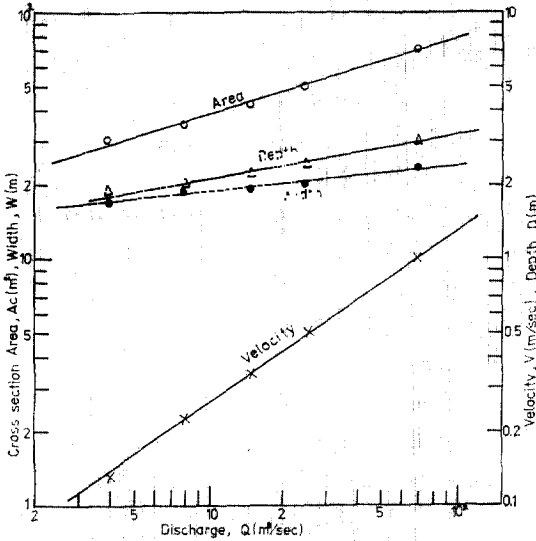


그림 5. Hydraulic Rating Curves for Seog Wha Station of Miho River

石花地點을 擇하였다. 縱軸에  $A, W, D$  및  $V$ 로 잡고 橫軸을  $Q$ 로 잡아서 全對數紙上에 表示한 結果 그림 5와 같다.

4.2.1 流量-生起頻度-比例河川次數間的 關係 어떤 水位標地點에서의 任意크기의 流量과 그의 生起頻度間的 關係는 式 (6)으로 表示되며, 또한 式 (5)에 의해 比例河川次數가 커짐에 따라 流域面積도 增加됨을 알 수 있다. 따라서 同一 生起頻도를 가진 流量도 比例河川次數에 比例하여 커질 것임을 짐작할 수 있다. 따라서 式 (6)의 關係를 다음과 같이 線型複合回歸模型으로 表示할 수 있다. 卽

$$\ln Q = \alpha - \beta F + \gamma u, \quad (8)$$

式 (8)의 關係로 나타내기 위하여 선택된 5個 水位標地點에서 式 (4)의 關係를 利用하여 各 水位標地點의 比例河川次數를 우선 表 7과 같이 決定할 수 있었으며 生起頻度別로 比例河川次數와 日流量關係를 半對數紙에 表示한 것이 그림 6, 7이다. 이 그림에 線形回歸分析에 의하여 決定된 直線과 各 頻度流量別 日流量과 比例河川次數와의 關係를 나타내는 相關係數를 求하여 表示하였다. 그림 6과 7의 資料를 使用하여 式 (8)의 概念으로 錦江 流域全般에 걸쳐 適用할 수 있는 다음 式으로 表示할 수 있었다.

$$\ln Q = -0.956 - 3.318F + 0.922u, \quad (9)$$

式 (9)에서 生起頻度別 日流量과 比例河川次數와의 關係를 分析한 結果는 比較的 密接한 關係를 보였다. 그러므로 이 式은 錦江流域의 任意地點에서 比例河川次數를 알면 流量을 求할 수 있다고 判斷된다.

表 7. 水位標地點別 比例河川次數의 決定

水位標地點	$N_{1,1}$ (本)	$N_{1,2}$ (本)	$N_{1,3}$ (本)	$U_x$	$U_i$	$U_j$
석 화	1,337	590	543	0.06	6	6.06
용 담	852	754	73	0.87	5	5.87
수 통	3,544	1,173	1,153	0.01	6	6.01
공 주	7,949	6,021	4,286	0.47	7	7.47
규 암	7,949	6,875	4,286	0.71	7	7.71

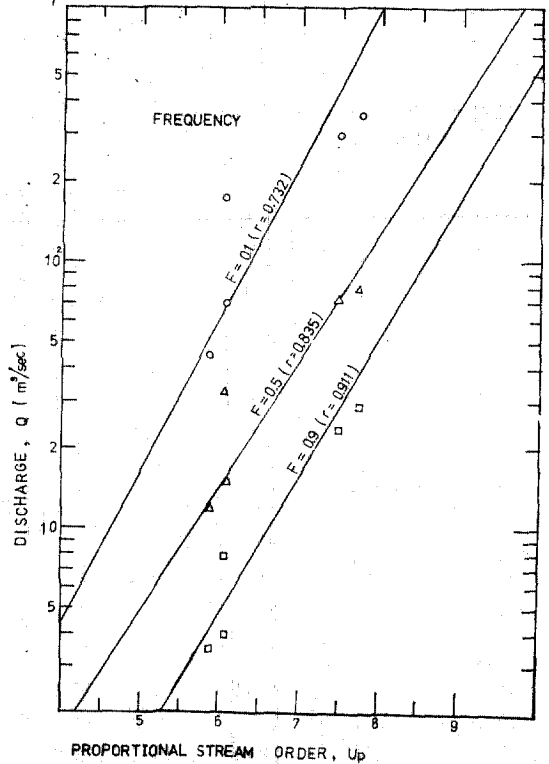


그림 6. Discharge-Frequency-Proportional Stream Order for  $F=0.1, 0.5, 0.9$

4.2.2 水理幾何學的 因子-生起頻度-比例河川次數間的 關係

流量( $Q$ )은 橫斷面積( $A_c$ )과 平均流速( $V$ )의 積( $Q=A_c \cdot V$ )이며 또 橫斷面積은 河川의 水面幅( $W$ )과 水理平均深( $D$ )과의 積( $A_c=W \cdot D$ )이므로

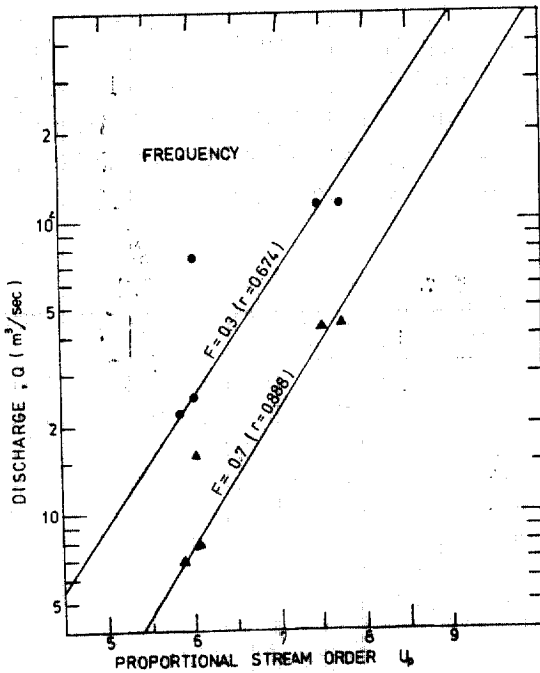


그림 7. Discharge-Frequency-Proportional Stream Order for F=0.3, 0.7

이들 河道의 特性度數  $A_c, V, W, D$ 도 式 (8)과 같은 特性關係가 있을 것으로 볼 수 있다. 즉

$$\ln A_c = \alpha_1 - \beta_1 F + \gamma_1 u_p \quad (10)$$

$$\ln V = \alpha_2 - \beta_2 F + \gamma_2 u_p \quad (11)$$

$$\ln W = \alpha_3 - \beta_3 F + \gamma_3 u_p \quad (12)$$

$$\ln D = \alpha_4 - \beta_4 F + \gamma_4 u_p \quad (13)$$

式 (10)~(13)의 關係로 나타내기 위해 選擇된 5個 水位標地點의 水理幾何的 資料가 必要하다. 그래서 流量(Q)은 任意生起頻度(F)에 相當하는 水位로 水位-流量關係曲線에 의하여 求하고 斷面積( $A_c$ )은 橫斷面圖에서 그 水位에 相當되는 값을 얻었다.

한편 水面幅(W)은 橫斷面圖에서 그 水位의 水面幅을 測定하므로써 求하였으며, 平均流速(V)은 流量(Q)을 斷面積( $A_c$ )으로, 水理平均深(D)은 斷面積( $A_c$ )을 水面幅(W)으로 나누어서 얻는다. 이와 같이 求한 5個 水位標地點의 水理幾何學的 資料는 表 8과 같다. 이 資料를 利用하여 複合回歸分析한 結果 式 (10)~(13)의 型式인

表 8. 錦江 5個 地點의 水理幾何學的 資料

水位表地點	流域面積	生起頻度	流量	斷面積	流速	水面幅	水理平均深	備 考
	$A_c$ (km)	F	Q (m³/sec)	$A_c$ (m²)	V (m/sec)	W(m)	D(m)	
石 花	1,178.96	0.1	72	70	1.03	23.3	3.00	
	1,178.96	0.3	22	50	0.44	20.4	2.45	
	1,178.96	0.5	12	42	0.28	19.10	2.20	
	1,178.96	0.7	9	35	0.26	18.42	1.90	
	1,178.96	0.9	3	30	0.10	16.00	1.88	
龍 潭	909.50	0.1	45	72.03	0.62	90.4	0.80	
	909.50	0.3	22	48.48	0.46	78.2	0.62	
	909.50	0.5	12	40.26	0.30	73.2	0.55	
	909.50	0.7	7	34.10	0.21	69.6	0.49	
	909.50	0.9	3.4	28.12	0.12	65.4	0.43	
水 通	1,056.63	0.1	177.24	82.0	2.16	29.39	2.79	
	1,056.63	0.3	74.57	56.0	1.33	23.05	2.43	
	1,056.63	0.5	33.00	46.0	0.72	21.80	2.11	
	1,056.63	0.7	16.00	38.0	0.42	19.89	1.91	
	1,056.63	0.9	8.00	33.0	0.24	18.75	1.76	
公 州	6,836.62	0.1	295.0	195.0	1.51	70.40	2.77	
	6,836.92	0.3	113.2	148.0	0.76	65.00	2.28	
	6,836.92	0.5	72.4	112.0	0.64	62.70	1.79	
	6,836.92	0.7	44.8	99.0	0.45	60.74	1.63	
	6,836.92	0.9	23.8	90.8	0.26	58.00	1.55	

窺 岩	8,142.34	0.1	350	186.01	1.88	54.4	3.42
	8,142.34	0.3	115	134.01	0.86	49.6	2.70
	8,142.34	0.5	80	119.49	0.67	48.4	2.47
	8,142.34	0.7	45.6	109.49	0.42	46.8	2.33
	8,142.34	0.9	29.0	98.82	0.29	46.0	2.15

다음 식 (14)~(17)이다. 이 식은 錦江 全流域에 適用할 수 있는 것으로써 適用範圍는 比例河川 次數의 값이 5~8이다.

$$\ln A_c = 0.514 - 0.991F + 0.633u_p \quad (14)$$

$$\ln V = -1.454 - 2.330F + 0.278u_p \quad (15)$$

$$\ln W = 1.964 - 0.351F + 0.286u_p \quad (16)$$

$$\ln D = -1.447 - 0.640F + 0.346u_p \quad (17)$$

이들 式中 生起頻度別 斷面積과 比例河川 次數의 關係로 表示된 式 (14)만을 代表로 圖示해본 결과 그림 8과 같다. 여기서 7은 生起頻度別 水理量과의 相關을 나타내는 相關係數로서 0.822~0.992의 範圍로 나타났다.

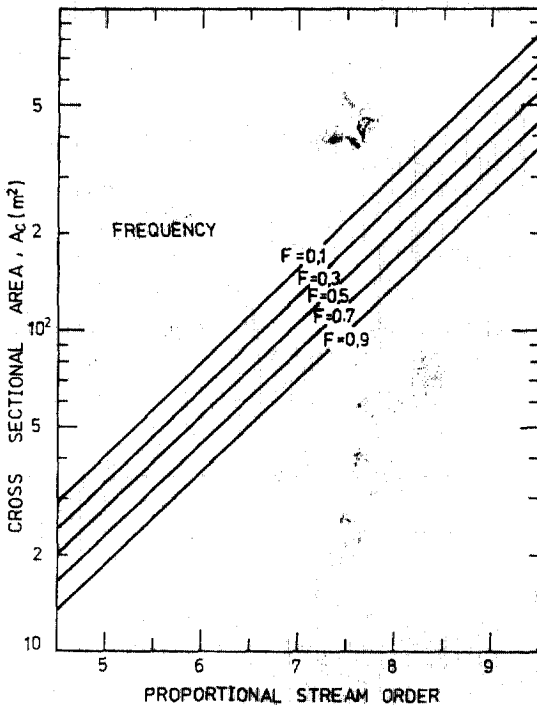


그림 8. Cross Sectional Area-Frequency-Proportional Stream Order Relations

#### 4.2.3 流域面積과 水理幾何學的의 因子

錦江流域의 比例河川 次數와 流域面積間의 關

係式은 그림 3에 記入된 回歸常數  $p, q$ 의 값을 사용하여 式 (5)의 形態로 表示하면

$$\ln A_c = -1.246 + 1.244u_p \quad (18)$$

式 (18)을  $u_p$ 에 관하여 풀어서 式 (9)에 代入하면

$$\ln Q = -0.032 - 3.318F + 0.741 \ln A_c \quad (19)$$

로 나타낼 수 있다.

그래서 水理幾何學的의 諸因子인 橫斷面積( $A_c$ ), 流速( $V$ ), 水面幅( $W$ ) 및 水理平均深( $D$ )을 式 (19)의 關係로 나타내서 實用化할 수 있도록 回歸分析이 使用된 表 8의 資料를 直接 plot 해서 eye fitting 한 直線과 式 (19)의 關係로 나타낸 直線과를 比較할 때 상당한 差異를 보였다. 이는 流域面積과 比例河川 次數間의 關係式인 式 (18)이 錦江 全體를 代表하는 回歸曲線式이므로 차이가 생길 것이 당연한 것으로 思料되어 式 (19)의 關係로 유도된 式은 實用化할 수 없다.

그래서 流域面積에 對數를 取한 式으로 假定해서 式 (19)의 形式으로 다음과 같이 表示해 보았다. 即

$$\begin{aligned} \ln Q &= \alpha - \beta F - \gamma \ln A_c \\ &= -0.665 - 3.318F + 0.752 \ln A_c \quad (20) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln A_c &= \alpha_1 - \beta_1 F + \gamma_1 \ln A_c \\ &= 0.688 - 0.691F + 0.519 \ln A_c \quad (21) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln V &= \alpha_2 - \beta_2 F + \gamma_2 \ln A_c \\ &= -1.338 - 2.330F + 0.231 \ln A_c \quad (22) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln W &= \alpha_3 - \beta_3 F + \gamma_3 \ln A_c \\ &= 2.045 - 0.351F + 0.237 \ln A_c \quad (23) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln D &= \alpha_4 - \beta_4 F + \gamma_4 \ln A_c \\ &= -1.334 - 0.640F + 0.282 \ln A_c \quad (24) \end{aligned}$$

上記式 (20)~(24)에서 各 變數間의 相關係數는 0.63~0.98의 값을 나타내 주었고 回歸分析에 使用된 資料와 computer에서 얻어진 理論式 即 (20)~(24)式은 잘 附合되었다. 그래서 水理幾何學的의 特性因子別로 이들 關係를 圖示한 것이 그림 9, 10, 11, 12 및 13에 나타냈다. 以上の

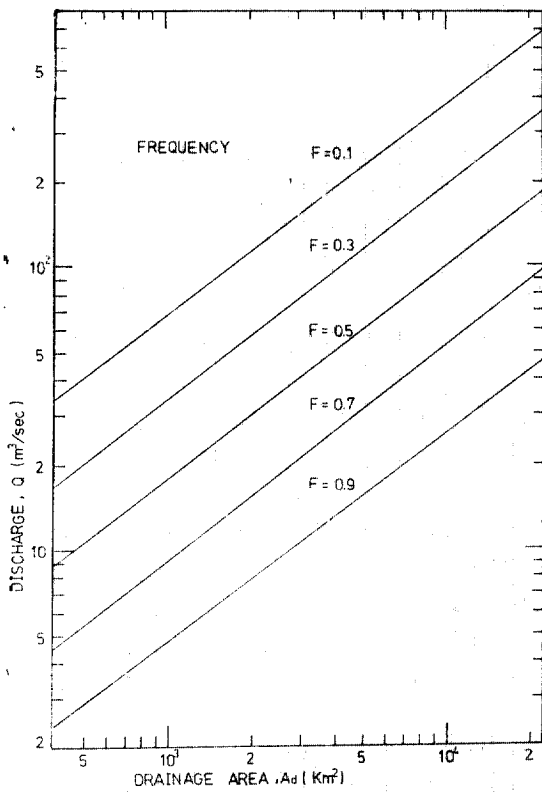


그림 9. Discharge-Frequency-Drainage Area Relations

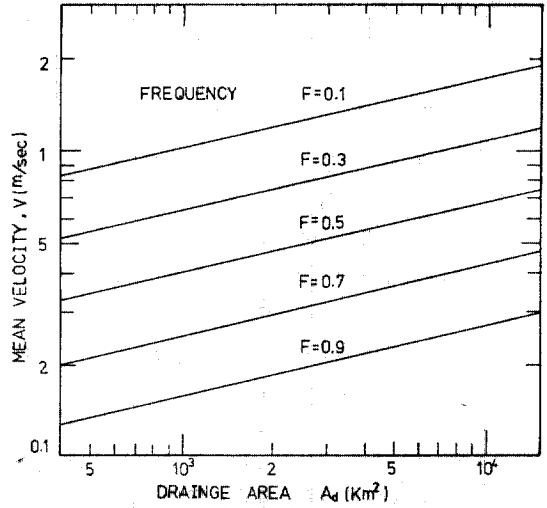


그림 11. Mean Velocity-Frequency-Drainage Area Relations

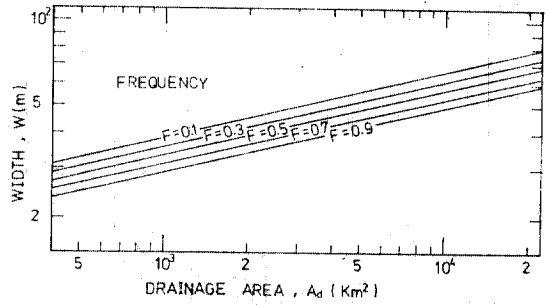


그림 12. Width-Frequency-Drainage Area Relations

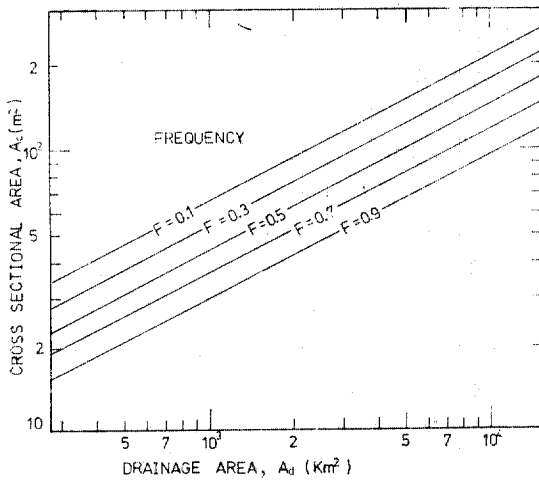


그림 10. Cross Sectional Area-Frequency-Drainage Area Relations

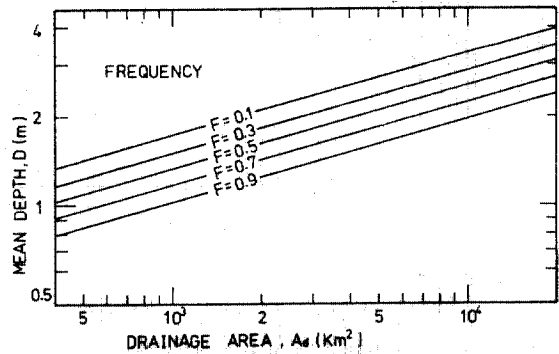


그림 13. Hydraulic Mean Depth-Frequency-Drainage Area Relations

式과 그림에 適用할 수 있는 流域面積의 範圍는 500 km<sup>2</sup>에서 1000 km<sup>2</sup>이다.

그러므로 式 (20)~(24)은 錦江流域의 生起頻度別 水理幾何學의 特性因子( $A_c, W, V, D$ )을 얻으려면 地形圖上에서 쉽게 얻을 수 있는 流域面積으로부터 쉽게 概算할 수 있을 것이다.

그래서 錦江 流域에서 實際適用할 수 있는가를 예를 들어 살펴보자. 龍潭地點의 流域面積( $A_c$ )이 909 km<sup>2</sup>이고 生起頻度( $F$ )가 0.1일 때 流量( $Q$ )을 求해 보자.

1. 그림 10에서 斷面積( $A_c$ )은 62 m<sup>2</sup>이고, 그림 11에서 平均流速( $V$ )은 1 m/sec이다. 그러므로 流量( $Q$ )은  $Q=A_c \cdot V$ 에 의하여

$$Q=62 \times 1=62 \text{ m}^3/\text{sec}$$

2. 生起頻度別 流量과 流域面積의 關係로 나타낸 그림 9에서  $A_c=909 \text{ km}^2$ 이고  $F=0.1$ 일 때 流量( $Q$ )은 62 m<sup>3</sup>/sec이다.

3. 地點別 流量과 生起頻度を 나타낸 그림 4에서 龍潭地點의 生起頻도가 0.1일 때 流量頻度曲線의 流量은 48 m<sup>3</sup>/sec이다.

以上の 適用節次에서 알 수 있듯이 流域面積을 函數로한 水理幾何學의 特性因子를 數式으로 나타낸 流量들과는 잘 一致(即 1.2)가 되나 特定水位標 地點을 對象으로 얻은 流量頻度曲線의 流量과 比較할 때 약간의 差異가 있다(即 3의 경우). 이는 그림 9, 10, 11, 12 및 13이 錦江 5個地點의 水理幾何學의 資料를 回歸分析에 의하여 얻어진 그림이므로 이들 資料를 利用하여 얻어진 값이 어느 特定地點別로 얻은 流量値와 正確히 一致한다고 보기는 어려움으로 약간의 偏差가 있을 것으로 判斷된다.

## 5. 結 論

錦江 水系를 對象으로 流域의 河川形態學의 特性과 頻度流量 및 水理幾何學의 因子間의 關係를 分析考察한 結果 대략 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1. 河川의 次數概念에 의한 地形의 3大法則을 錦江流域에 適用해 본 결과 直線으로 表示할 수 있으므로 이는 水系組織이 錦江水系도 一定한 規則性을 가지고 發達되어 있음을 證明하고 있다.

2. 洪水와 旱魃流量을 제외한 頻度流量은 대

체로 指數函數로서 表示할 수 있으며, 同一生起頻度を 中心으로 하여 各 水位標地點에서의 流量을 比較해 보면 上流에서 下流로 내려감에 따라 점점 커짐을 알 수 있다.

3. 比例河川次數의 概念을 本 水系에 適用해 본 결과 水系의 形態學의 特性을 連續性있게 表示하는데 效果의이며, 形態學의 特性을 水系의 水理幾何學의 特性에 相關시키는데 媒介體 役割이 됨을 알 수 있었다.

4. 流量-生起頻度-比例河川次數間의 關係에서 대체로 보아 生起頻도가 작아짐에 따라 相關係數가 커짐을 알 수 있는데 이는 低水流量이 高水流量보다 水系의 形態學의 特性의 影響을 더 많이 받는다고 判斷된다.

5. 本 研究에서 開發된 流量을 求하는 式에는 比例河川次數를 利用하는 方法(式 9)과 流域面積을 利用하는 方法(式 20)이 있으나 流域面積은 比例河川次數보다는 流域에서 流出現象에 直接의인 影響을 미치는 重要한 因子이며, 地形圖를 使用할 경우 比例河川次數보다는 쉽게 求할 수 있으므로 流域面積을 函數로 한 式 (20)이 더 實用的일 것으로 判斷된다.

6. 水系內 未計測地點에서 流域面積을 函數로 하여 水路의 特性因子를 求하도록 開發된 式 (21~24)이 本 流域의 利水 및 治水計劃을 수립하는데 有用한 資料가 될 것으로 思料된다.

## 參 考 文 獻

1. Chapman, C.A., "A new quantitative method of topographic analysis", *Amer. Jour. Scie.*, vol. 250, pp. 428-452, 1952.
2. Coates, D.A., "Quantitative geomorphology of small drainage basin in Southern Indiana", *Of. Nav. Res. Proj. NR 389-042, Tech. Rept. 10, Columbia Univ., Dept. of Geology, ONR, Geography branch, New York, 1956.*
3. Hedman, E.R., "Mean annual runoff as related to channel geometry of selected streams in California", *Geological survey water-supply paper 1999-E, U.S. Govert. Printing Office Washington, 1970.*
4. Horton, R.E., "Drainage basin Characteristics", *Trans. Amer. Geophys. Union*, vol. 13, pp. 350-

- 361, 1932.
5. Horton, R.E., "Erosional development of stream and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology", *Bull. Geol. Soc. of Amer.*, vol. 56, pp.275-370, 1945.
  6. Golding, B.L. and Low. D.E., "Physical Characteristics of Drainage Basins", *Jour. of Hydr. Div., A.S.C.E. Proc. Paper 2406*, vol. 86, No. Hy3, pp.1~11, 1960.
  7. Gray, D.M., "Interrelationships of Watershed Characteristics", *Jour. Geophys. Res.* vol. 66, No. 4, April. pp.1215-1223, 1961.
  8. Gray D.M., "Derivation of Hydrographs for Small watersheds from Measurable physical Characteristics." *Ph. D. Thesis, Library, Iowa State Univ. Sci. and Technol., Amer. Iowa*, 1960.
  9. Judd, H.E. and Peterson, D.F., "Hydraulic of large bed-element channels", *Water Resources Lab. Utah State Univ.*, 1960.
  10. Langbein, W.B., "Geometry of river Channels" *Jour. Hydr. Div., Proc. A.S.C.E., Hy2*, No. 3846, Mar, pp.301-313, 1964.
  11. Langbein, W.B. and Others, "Topographic Characteristics of drainage basin", *U.S. Geol. Sur. Water supply paper 968-C*, 1947.
  12. Leopold, L.B. and Maddock, thomas., "The hydraulic geometry of stream channels and some Physiographic implications," *Geol. Survey U.S. Professional Paper No. 252*, 1953.
  13. Liao, K.H. and Scheidegger, A.E., "A computer model for some branching type Phenomena in hydrology", Univ. of Illinois, Urbana. Ill.
  14. Liao, K.H. and Scheidegger, A.E., "Theoretical stream length and drainage areas in Horton nets of various orders", *Water resources research*, vol. 5, No. 3, June, pp.744-746, 1969.
  15. Maria Ozga-zielinska, "Statistical analysis of relationships among characteristics of stream flow and physiographic characteristics of the river basin", *Publication N°117 de l'association internationale des science hydrologiques symposium de Tokyo*, Decem., 1975.
  16. Melton, M.A., "An analysis of the relation among elements of climate surface properties and geomorphology", *Off. of Nav. Res. Project NR. 389-042, Technical Rept. No. 17, Dept. of geology Columbia University, New York 27*, N.Y., 1957.
  17. Morisawa, M., "Streams their dynamics and morphology", McGraw Hill Book company, New York, 1968.
  18. Masashi Nagao "Study on the geomorphology of drainage basins effecting flood runoff." 京都大学防炭研究所会報 第9号, 1966.
  19. Riggs. H.C., "Streamflow Characteristics from Chennel Size," *Hy1 No. 13501 A.S.C.E.* Jan., 1978.
  20. Schumm. S.A., "Evolution of drainage systems and slopes in badlands at perth amboy, New Jersey", *Bulletin, Geol. Soc. of Amer.*, vol. 67, pp.597-646, 1956.
  21. Shreve, R.L., "Statistical law of stream number" *Journal of geology*, vol. 74, No. 1, pp.17-37, 1966.
  22. Shreve R.L., "Theory of river profiles", *EOS, Transac. Amer. Aeoph. Uni.*, vol. 67, No. 4, H19, April, 1976.
  23. Smart, J.S., "Statistical properties of stream lengths", *Water resources research*, vol. 4, No. Oct., pp.1001-1014, 1968.
  24. Stall, J.B. and Yang, C.T., "Hydraulic geometry of 12 selected stream system of the United states." *Research Rept., No. 32, Water Res. Center, Univ. of Illinois*, Urbana, 1970.
  25. Stall, J.B. and Yang, C.T., "Hydraulic geometry and low streamflow regimen", *Univerity of Illinois water resources center research report*, No. 54, July, 1972.
  26. Stall, J.B. and yu-Si Fok, "Hydraulic geometry of Illinois strems." *Water Res. center Univ. of Illinois, Urbana, research Rept., No. 15*, 1968.
  27. Strahler, A.N., "Dimension analysis applied to fluvially eroded landforms", *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 69, Mar., pp.279-300, 1958.
  28. Strhaler, A.N., "Demensional analysis in geomorphology", *Office of Nav. Res. Proj. NR 389-542, Tech. Rept. 7*, Dept. of geology, Columbia Univ., New york, 1957.
  29. Strahler, A.N., "Equilibrium theory of erosional slopes approached by frequency distribution ana-



- lsis", *Amer. Jour. Sci*, vol. 248, pp.637-697, pp.800-814, 1950.
30. Stahler, A.N., "Hypsometric analysis of erosional topography", *Bull. of the geological society of Amer.*, vol. 63, pp.1117-1142, Nov., 1952.
  31. Strahler, A.N., "Quantitative geomorphology of drainage basin and channel networks", Hand book of applied hydrology, section 4-11, edited by Ven T. Chow., Mcgraw Hill book company, New York.
  32. Strahler, A.N., "Quantitive geomorphology of erosional landscape," *C-R.*, 19th Inter. Geol. Congress, Algiers, Sec. 13, pp.341-354, 1952.
  33. Strahler, A.N., "Quantitative slopes analysis" *Bull. Geol. Sec. Amer.*, vol. pp.571-596, 1959.
  34. Strahler, A.N., "Statistical analysis in geomorphic research", *Jour. Geol.*, vol. 62, No. pp.1-25, Jan., 1954.
  35. Strahler, A.N., "Quantitative analysis of watershed geomerphology", *Tran. Amer. Geophs. Union*. vol. 38, No. 6, Dec., 1957.
  36. UNDP Naktong river basin survey team, "Water resources planning in the Naktong river basin", vol. III. July, 1968.
  37. Yang Tsung, "Potential energy and stream morphology," Illinois state water survey and water resources center of univerty of Illinois", *For. Presentation at the 51st American Geophysical Union annual Meeting* April 20-24, 1970.
  38. Yang, C.T. and Stall, J.B., "Note on the map scale effect in the study of stream morphology", *water resources research*, vol. 7, No. 3, pp. 766-712, 1971.
  39. 建設部 慶州開發研究所, 普門地區 골프장 및 附帶 施設開發이 下流에 미치는 影響에 對한 水文調査 報告書, 1975.
  40. 建設部, 國際水文開發計劃(IHP) 代表試驗流域研究 調查報告書(慶安川, 無心川), 1975.12.
  41. 安相鎭, 小河川水系的 河川形態學의 特性에 關한 研究, 忠北大學校 論文集 第12輯, pp.377-383, 19 77.
  42. 姜瑄沅外 2人, 錦江水系의 水理幾何學의 特性研究 大韓土木學會誌 第27卷 第1號, pp.91-99, 1979.2
  43. 姜瑄沅外 2人, 小河川水系的 流域特性에 關한 研究, 韓國水文學會誌 第19卷 第1號, pp.71-77, 19 77.6
  44. 尹龍男, "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, 1973.3
  45. 崔榮博, "洛東江 水系的 地形因子와 比流量에 關한 研究", 大韓土木學會誌創立 20周年紀念論文集 pp.136-147, 1972.
  46. 建設部, 錦江河川整備基本計劃(I)(II), 1974, 19 75.
  47. 建設部, 水文調査年報, 1965-1974.
  48. 建設部, 流量臺帳, 1975, (1962-1975 觀測值)

(接受: 1981. 12. 28)