

< 論 文 >

錦江水系の 蛇行에 關한 研究

A Study on the River Meanders in Geum River System

安 相 鎭*

Sang-Jin Ahn

李 在 炯**

Jai-Hyong Lee

金 京 鎬***

Kyong-Ho Kim

金 陽 洙****

Yang-Su Kim

Abstract

In recent years owing to extensive land reclamation, increased river engineering activities and more intense flood plain use, river geomorphology has attracted considerable attention.

One of the outstanding problems has been maintenance of river meanders and nearly all natural river exhibit the tendency to meander.

Often the meander geometry was fitted in to various idealized model. Consequently, both the selection of data and the methods to determine the geometric parameters were highly subject to individual preferences.

This study applied statistical analysis in typifying their shape and analysed meander characteristics by channel model of line generalization algorithm.

This method is applied to Geum river system.

The results show that the variance of curvature is a better index to describe the meander intensity and the kurtosis is a good index to characterize the total length of the straight sections for a given reach.

The results also show that channel model of line generalization algorithm is a good model in analysis of meander characteristics.

要 旨

河川敷地の 利用, 개간事業 및 河川을 工學的 側面에서 維持管理해야 된다는 理論이 活潑해 감에 따라 河川形態學의 研究가 주목을 받게 되었다. 그 가운데서도 河川의 蛇行에 關한 問題는 甚히 重要함을 認定받았다.

그러므로 蛇行特性의 分析에서 많은 理想的인 모델을 使用하였는데 이와같은 理想的인 모델에 依해 얻어진 資料나 幾何學의 變數의 決定方法은 個人의 選好에 依해 달라지는 수가 많다.

* 忠北大學校 工科大學 副教授 工學博士

** 忠北大學校 工科大學 專任講師

*** 忠北大學校 工科大學 專任講師

**** 忠北大學院 土木工學科

本 研究에서는 水路形態의 모델化에 依한 不合理을 제거하기 위하여 統計的인 方法을 使用하였으며 새로운 蛇行特性 分析方法인 線形 一般化 알고리즘에 依한 水路모델을 蛇行特性 分析에 使用하였다. 그 結果 曲率의 分散程度가 蛇行密度를 判別해주는 指數가 됨을 알았고, 尖銳度는 任意水路內에서 直線水路의 特性을 表示하는 尺度가 됨을 알 수 있었다. 特히 線形一般化 알고리즘에 依한 水路모델은 蛇行特性을 分析하는데 좋은 모델이 됨을 나타내 주었다.

1. 序 論

人口와 制限된 國土로 河川敷地의 利用이 불가피하게 되었다. 河川이 人間生活에 重要한 役割을 함으로 河川의 維持管理 問題가 심각하여 왔으며, 이에 따른 問題로 河川의 形態學의 研究가 活潑하게 進行되어 왔다.

河川의 形態學的 特性은 여러가지가 있으나, 그중에서도 蛇行現象은 洪水時 河道의 安全性이나 取水等 매우 重要한 問題를 內包하고 있다. 自然 河川은 大部分 蛇行 特性을 나타내고 있는데 이 蛇行이 發達하는 原因에는 여러가지 學說이 있다.

이들 學說에 依하면 蛇行의 原因¹⁾은 地球自轉에 의한 影響, 흐름의 속도 에너지에 의한 影響, 堤防침식에 의한 침식물과 부유물질에 의한 影響, 흐름의 局部的인 不安定에 의한 影響, 河床變動에 의한 影響, 에너지를 最小로 分散시키는 流路를 擇하려는 流水의 性質에 의한 影響, 이 외에도 未知의 影響에 의한 生成說 등이 있다.

이와같은 學說들은 하나의 定說로 認定되어 있지 않으며 다만 여러가지 복합적인 影響에 依하여 蛇行이 發達된다고 추측하고 있다. 蛇行現象을 水理幾何學의 特性으로 表示할 것으로는 美陸軍 공병단²⁾에서 1945년 미시지피강을 對象으로 대대적인 模型實驗을 實施한 結果 蛇行水路의 生成原因中 하나를 지방 침식과 침전물이라고 하였으며, 초기 流入角이 크면 灣曲이 커지며 屈曲度도 增加한다는 것을 입증한 바 있다.

Inglis³⁾는 蛇行波長의 概念을 導入하여 蛇行波長, 流量, 河幅, 蛇行間의 相關關係를 發表하였으며, Leopold와 Wolman⁴⁾은 Inglis의 概念을 더욱 發展시켰다. 또 Dury⁵⁾는 支配流量의 概念을 使用하여 氣象學的 變化狀態를 考慮한 蛇行河川의 洪水量 問題를 取扱하였다. 最近에는 蛇行河川의 幾何學의 因子 分析에 統計的 方法을 많이 使用하고 있다.

Speight⁶⁾는 水路의 屈曲度 추적에 Spectrum 分析을 使用하였으며, Chang⁷⁾은 순수 통계학적 方法을 使用하여 蛇行河川의 幾何學의 因子들을 分析하였다. 이밖에도 Brice⁸⁾, Hickin⁹⁾, Schumm¹⁰⁾ 등의 많은 學者들이

實驗 및 理論을 研究한 바 있다.

우리나라에서는 尹¹¹⁾이 最小일의 原理에 依한 蛇行現象을 說明하였으며, 高¹²⁾가 灣曲水路의 河床變動에 關한 研究를 한 바 있다. 또한 宋¹³⁾이 “우리나라 河川의 蛇行 特性에 關한 研究”에서 우리나라 河川을 對象으로 蛇行特性 因子間의 相關性 分析과 함께 새로운 蛇行特性 因子를 提案한 바 있다.

本 研究는 蛇行 特性을 규명하기 위하여 河川形態學의 特性 因子를 中心으로 河川地形의 法則을 利用한 Horton의 3大法則과 屈曲度와의 關係, 分岐率과 延長比, 流域面積과 河川延長 및 屈曲度의 關係를 分析하였으며, 統計學的 理論을 배경으로 水路의 曲率, 河幅, 蛇行比를 分析하여 河川形態學의 理論과 確率密度 函數理論이 依하여 錦江水系의 蛇行特性을 究明하고자 한다. 그림-1은 錦江 流域圖를 表示하고 있으며, 區間表示는 曲率資料로 利用한 各 區間을 表示하고 있다.

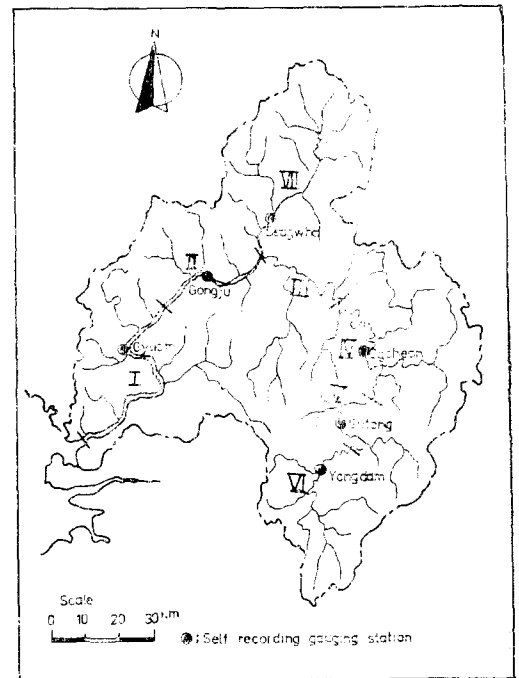


Fig. 1. Map of Geum River basin and 7 reach for Data of Curvature analysis

2. 理論과 資料의 分析 및 考察

2.1 資 料

河川形態學의 特性資料인 河川次數, 河川數, 各 次數의 河川平均延長, 河川平均傾斜 및 流域面積 등은 國立地理院에서 製作한 1:50,000地形圖에서 資料를 얻은 안¹³⁾의 資料를 直接 利用하였으며, 蛇行特性에 必要한 屈曲度, 傾斜率, 曲率, 蛇行比 및 蛇行面積比 등은 地形圖에서 얻은 값을 理論式에 依하여 獲得하였으며, 河幅의 資料는 橫斷面圖에서 얻었다.

2.2 河川網의 形態

흐름體系에 關한 變數特性과 河川網의 體系에 對한 幾何學的 因子를 決定하는 方法은 Horton¹²⁾과 Leopold 및 Miller²⁾에 依하여 具體化 되었다. 流域內의 河川支流들에 關한 特性은 河川形態學의 特性과 水理幾何學의 特性과의 關係로부터 얻을 수 있으며, 1個 水路에 對한 幾何學的 特性은 流域全體의 特性을 나타낼 수 있는 變數役割도 表示하기도 한다.

河川網에 미치는 複雜한 影響과 水路特性의 河川屈曲에 미치는 影響은 河川次數概念에 依하여 體系의 으로 分析할 수 있으므로 錦江流域의 河川網 體系도 이 方法으로 河川分岐率, 延長比, 深沒度 및 河川屈曲度 등을 計算할 수 있다.

그에서 本 研究에 利用된 基本資料는 表-1과 같다. 여기서 河川次數, 河川數, 分岐率, 河川平均延長 및 河川平均傾斜 資料는 Horton-Strahler 方法에 依한 河川次數概念으로 分析하여 얻은 안¹³⁾의 資料를 利用하였고, 傾斜率은 n次의 傾斜를 (n-1)次로 나눈 값으로 얻었으며, 屈曲度는 Chang²⁾이 提案한 蛇行帶를 蛇行波長으로 나눈 값으로 求하였다.

Table 1. Stream Morphological Characteristics Parameters of Geum River System

河川次數 (U)	河川數 (N)	分岐率 (V _L)	河川平均延長 (L, km)	河川平均延長比	河川平均傾斜 (S×10 ²)	河川平均傾斜率	河川屈曲度 (S _n)	備 考
1	6,110	4.34	0.96	—	9.28	—	*	
2	1,407	4.23	1.73	1.80	3.59	0.39	*	
3	333	4.76	4.22	2.44	1.17	0.33	1.18	
4	79	4.94	11.27	2.67	0.45	0.38	1.23	
5	16	4.00	25.16	2.23	0.21	0.47	1.24	
6	4	4.00	67.48	2.68	0.08	0.38	1.25	
7	1	—	85.70	1.27	0.02	0.25	1.19	
平 均	—	4.38	—	2.18	—	—	—	

* : 1次, 2次에 對한 河川屈曲度는 1:50,000 地圖를 利用한 데, 資料의 차이가 이따우므로 생략하였음.

2.2.1 Horton-Strahler의 法則과 屈曲度의 法則

河川次數에 對한 河川地形의 3大法則은 Horton-Strahler方法을 利用하였으며, 이는 本誌¹⁴⁾ 第10卷 1號에 자세히 說明하였으므로 이에 對한 說明은 생략하였다.

河川平均屈曲度의 法則(law of average stream sinuosity)은 Stall과 Fek¹⁵⁾에 依하면 河川次數와 河川屈曲度와의 關係는 다음과 같이 表示된다.

$$\ln S_n = G + H \cdot n \quad (1)$$

여기서 S_n; 河川次數別 河川平均屈曲度 G, H; 流域特성에 따라 決定되는 常數이다.

河川傾斜率은 次數別 河川傾斜의 比로서 다음과같이 定義된다.

$$\text{河川傾斜率} = S_{n+1} / S_n \quad (2)$$

여기서 S_n 및 S_{n+1}; n次 및 n+1次 河川의 傾斜이다.

Table 2. Stream bifurcation ratio and Stream length ratio in Korean Rivers

水系名 特性因子	錦 江	榮 山 江	萬 頃 江
分岐率	4.0~4.94	3.30~5.00	2.50~4.50
平均分岐率	4.38	3.72	3.75
延長比	1.20~2.70	1.60~3.20	1.60~2.70
平均延長比	2.18	1.97	1.92

本 水系에 Horton-Strahler의 方法에 依한 河川數의 法則, 河川平均延長의 法則, 河川平均傾斜의 法則 및 式(1)에 成立하는 가를 檢査하기 爲하여 表-1의 資料로 分析한 結果 다음과 같은 式을 얻을 수 있었다.

河川數의 法則

$$\ln N_n = 1.45 - 0.954n \quad (r=0.969) \quad (3)$$

河川平均延長의 法則

$$\ln L_n = -0.945 + 0.826n \quad (r=0.992) \quad (4)$$

河川平均傾斜의 法則

$$\ln Su = 4.934 + 1.588u \quad (r=0.804) \quad (5)$$

河川平均屈曲度の 法則

$$\ln Su = 3.661 + 0.024u \quad (r=0.156) \quad (6)$$

表-1의 資料로 河川次數에 對한 河川數, 河川延長, 河川傾斜 및 河川屈曲度の 關係를 半對數紙에 表示해 본 結果 그림-2와 같다. 그림-2에서 알 수 있듯이 Horton-Strahler의 3次法則을 本 水系에 適用해 본 結果 直線으로 表示가 可能하였으리, 相關係數는 높은 相關性을 나타냈다. 이는 錦江水系의 水系組織이 一定한 規則性을 가지고 發達되어 있음을 알 수 있다.

또한 河川次數와 屈曲度の 關係를 分析해 본 結果 相關性($r=0.156$)이 좋지 않은 것으로 나타났다. 이는 河川次數變化에 따라 屈曲도가 一定한 比例로 變化되지 않음을 나타내고 있다고 하겠다. Onesti⁹⁾는 美國의 wisconsin州의 peconica 河川에 對하여 河川屈曲度の 法則은 適用시켜 본 結果 相關性($r=0.121$)을 얻었다. 이것은 河川次數와 屈曲度の 相關係數가 一般적으로 좋지 않음을 말해주고 있다.



Fig. 2. Stream order vs stream number, length, slope, sinuosity

2.2.2 河川數의 分岐率과 河川延長比

河川數의 分岐率과 河川延長比는 河川網의 構成形態

를 나타내는 重要한 式으로서 다음과 같이 定義된다.

$$\text{河川數의 分岐率} = N_u / N_{u+1} \quad (7)$$

$$\text{河川延長比} = L_{u+1} / L_u \quad (8)$$

本 水系에 對한 河川數의 分岐率과 河川延長比는 式(7), (8)로 求하였으리 그 結果는 表-1에 收錄한 바와 같다. 表-1에서 알 수 있듯이 本 流域의 分岐率의 範圍는 4.0~4.94이며 全水系의 平均分岐率은 4.38이다.

Horton⁹⁾이 美國 東部地方의 河川을 對象으로 分岐率을 分析한 結果 2.9의 값을 얻었고 Leopold Wolman 및 Miller¹⁰⁾는 美國 全河川을 對象으로 調査한 結果 平均分岐率이 3.5로 나타났다.

韓國 河川의 경우 錦江, 萬頃江, 榮山江의 資料를 分析한 結果^{13,16,17)}는 表-2와 같다.

表-2에서 알 수 있듯이 錦江, 榮山江 및 萬頃江의 平均分岐率이 4.38, 3.72 및 3.75로 나타나 錦江이 가장 큰 값을 보이고 있으며, 또한 平均延長比가 2.18, 1.97 및 1.92로 錦江이 가장 큰 값으로 나타났다. 河川網의 形態는 分岐率과 河川延長比로 나타낼 수 있는데 分岐率과 河川延長比의 값이 큰 流域은 Onesti⁹⁾에 依하면 一般적으로 길다란 圓形流域을 形成한다고 한다.

2.2.3 流域面積과 河川延長 및 屈曲度와의 關係

Schumm¹¹⁾은 Horton의 河川延長의 法則을 基礎로 流域面積의 法則을 發表한 바 있다. 即,

$$\ln A_d = m - nu \quad (9)$$

여기서 m, n 은 流域面積에 따라 決定되는 常數.

河川平均延長의 法則과 流域面積의 法則은 河川次數가 河川延長과 流域面積과는 指數函數 關係가 있음을 뜻하므로 河川의 平均延長과 流域面積間에는 無函數關係가 成立된다고 볼 때 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$L = aA_d^b \quad (10)$$

式(10)에서 a, b 는 流域形態에 따라 決定되는 常數이다. 그러므로 面積의 變동은 길이의 次元이 되며 따라서 式(10)의 指數의 偏差는 流域面積의 增加率에 따라 變한다. 만일 河川延長과 流域面積의 平方根이 같은 比率로 變한다면 指數는 0.5가 될 것이다. 河川屈曲度는 平面의 長으로서 河床屈曲度와 水路屈曲度로 大別된다. 河床屈曲度에 가장 큰 影響을 미치는 要素는 ①)는 流阻, 傾斜 및 流量이다. 河川의 屈曲度를 나타내는 方法에는 다음과 같은 여러가지가 있다.

Chang¹²⁾에 依하면 그림-3과 같이 다음式(11)로 定義하였고, Schumm과 Brice는 式(12)와 式(13)으로 定義하였다.

$$S_n = \lambda_n / \lambda \quad (11)$$

$$S_n = L / V_L \quad (12)$$

$$S_n = L/T_L \quad (13)$$

그림-3에서와 같이 λ^* 는 蛇行帶(meander belt)이고, λ 는 蛇行波長(meander wave length)이며, V_L 은 溪谷의 延長(Valley length), T_L 은 最深線의 延長(Tailweg length)이다. 이때 最小線의 延長은 河川延長으로 代置할 수 있다. 次數別로 河川延長으로 代置할 수 있다. 次數別로 河川延長과 流域面積間의 關係分析과 또한 次數別로 河川屈曲度와 流域面積間의 關係를 分析하여 表-3에 收錄하였다.

河川屈曲度は 式(11)에 依하여 分析하였으며, 그 結果는 表-1에 收錄하였으며, 地圖作業上 分析이 不可能한 河川次數一次, 二次는 除外하였다.

3次 以上에 對한 河川의 屈曲度와 流域面積間의 關係를 分析하여 式(14)로 表示하였다.

$$\ln S_n = -0.015 + 0.0684 \ln A_d \quad (r=0.248) \quad (14)$$

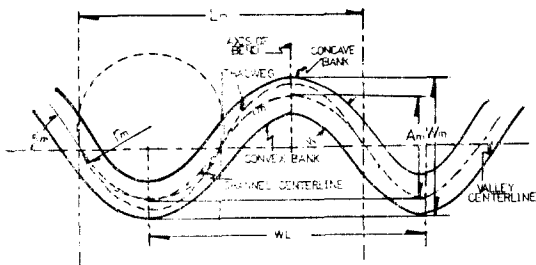


Fig. 3. Definition Sketch of Meander Dimensions

Table 3. Stream length-Drainage area and Stream Sinuosity-Drainage area Relations of Geum River System

河川次數	河川延長와 流域面積		屈曲度와 流域面積	
	常數(a)	指數(b)	常數(a)	指數(b)
3~4	-0.029	0.803	-0.010	0.146
4	-0.053	0.972	0.478	0.012
3~6	1.939	0.146	-0.015	0.068

Table 4. Data of Curvature analysis

區 間	河川次數	河川延長 (km)	區 間 別 資 料 數	備 考
1	7	38.5	77	I (그림-1)
2	7	29.0	58	II (")
3	6	38.5	77	III (")
4	6	37.0	74	IV (")
5	6	26.5	53	V (")
6	6	66.5	133	VI (")
7	6	38.5	77	VII (")

2.2.4 河川傾斜와 屈曲度와의 關係

一般의 河川傾斜가 急해지면 水路는 꼬불꼬불한 모양을 이루며, 傾斜가 완만해 갈수록 꼬불꼬불한 性質은 減少되며 그 代身 蛇行帶가 커지게 된다. 그러므로 河川次數別로 河川屈曲度와 河川傾斜와의 關係를 本流域에 適用해 보기 위하여 보통 方位지에 表示해 본 결과 그림-4와 같이 表示할 수 있었다.

그림-4에서 알 수 있듯이 河川次數와 河川傾斜와의 關係에서 河川次數가 작아 질 수록 河川傾斜는 增加됨을 알 수 있으며, 河川次數와 河川屈曲度와의 關係에서는 河川次數가 增加 할 수록 河川屈曲度는 점차적으로 減少하는 傾向을 알 수 있고, 河川屈曲度와 河川傾斜의 關係에서는 河川傾斜가 增加 할 수록 두 關係에서 이루는 曲線은 기다란 圓形曲線形狀이 됨을 알 수 있었다.

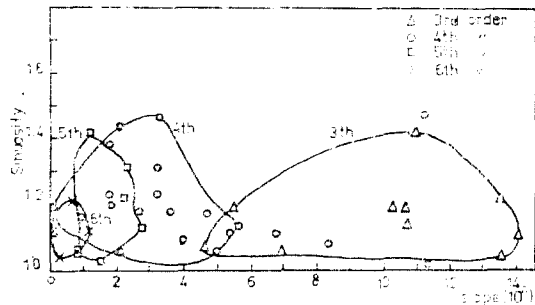


Fig. 4. Stream Sinuosity-Stream order Channel Slope Relations

2.3 蛇行水路의 幾何學

蛇行特性의 研究에 있어서 流域內 複雜한 幾何學的의 因子들 間의 關係를 正確한 數式으로 表現하기란 어려운 일이다. 그렇기 때문에 蛇行水路의 幾何學的의 모델은 어떤 理想的인 모델을 使用하여, 이 모델에 依하여 分析을 하게 마련이다.

河川의 單一屈曲 線이들 蛇行帶로 模型化 시킨 것도 이와같은 추측 方法에 依한 것이다. 이러한 模型化에 依한 不合理는 蛇行特性因子分析에 統計的 方法을 利用하면 除去될 것으로 생각되며, 錦江 本流部와 美湖川 區間의 蛇行特性因子分析에 統計的 方法을 使用하였다.

水路의 幾何學的의 因子들의 分布狀態와 屈曲特性을 分析하는에 使用된 確率變數는 確率密度函數이다. 이들 確率變數들의 分布 特性, 擴張의 程度, 分布의 片 畧들을 알기 위하여는 確率密度函數에 對한 모델트로 나타내며 보통 算術平均數(mean), 分散度(variance), 歪曲度(skewness), 尖銳度(kurtosis) 등으로 表示한다.

이거시 尖銳度(kurtosis)는 確率分布函數의 傾경도를 판별하기 위한 매개변수로서 平均値에 關한 4次코멘트로 定義한다.

2.3.1 水路의 曲率

그림-5에서 알 수 있듯이 自然河川水路에서 距離가 ΔL 만큼 증가했다면 曲率 C, S_i 는 다음과 같이 定義할 수 있다.

$$C|S_i| = \frac{d\theta(L)}{dL} = \frac{\Delta\theta(L)}{\Delta L} \quad (15)$$

이거시 L 는 水路의 中心總을 따라 測定한 水路의 延長이며, θ 는 水路선이에 따라 變化하는 方向角의 變化角이다. ΔL 는 地圖作業이 可能限 圖上 1cm로 區分하였 으며, $\Delta\theta$ 의 부호와 크기는 벡터의 dot product와 cress product에 依해, 연속적인 세점 (L_{i-1}, L_i, L_{i+1})으로부 더 얻을 수 있다.

$$\Delta\theta(L_i) = \cos^{-1} \cdot \left[\frac{\Delta L_{i+1} \cdot \Delta L_i - \Delta L_{i-1} \cdot \Delta L_{i+1} - \Delta L_{i-1} \cdot \Delta L_i}{(\Delta L_{i+1}^2 - \Delta L_{i-1}^2)^{1/2} \cdot (\Delta L_{i-1}^2 - \Delta L_i^2)^{1/2}} \right] \quad (16)$$

이거시 L_{α}, L_{β} 는 各點 x 軸, y 軸의 해당하는 좌표이며,

$$\Delta L_{i-1} = L_{\alpha} - L_{\alpha_{i-1}}, \quad \Delta L_{i-1} = L_{\beta} - L_{\beta_{i-1}}$$

式(15)는 $\Delta\theta$ 의 절대치를 表示하고 있고, $\Delta\theta$ 의 부호는 벡터크로스곱(cress product)에 依해 表示할 수 있다.

$$\vec{S}_{i-1} \times \vec{S}_i \times \vec{S}_{i+1} = \Delta L_{i-1} \cdot \Delta L_{\alpha} - \Delta L_{\beta_{i-1}} \cdot \Delta L_{\beta} \quad (17)$$

式(16)은 연속되는 3점에 依해 부호가 決定되며, 이 부호는 方向角의 變化方向을 나타낸다.

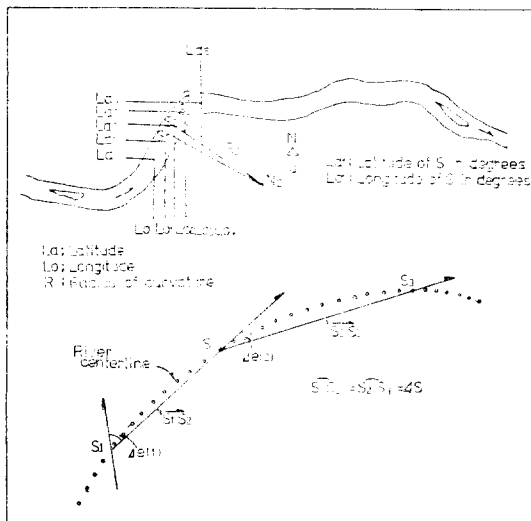


Fig. 5. Determination of local Curvature

自然河川의 水路²⁾는 抵抗力을 最小로 받는 形態로 점점 接近해 가며, 抵抗이 最小가 될 때 水路의 變動은 없게 되고, 河道는 安定狀態가 된다. 이와같은 安定狀態에 있는 河川의 屈曲度는 最小抵抗을 받는 水路의 屈曲度이며, 이런 狀態에 있는 河川의 幾何學的 因子의 分布狀態는 地質學的으로 같은 條件의 여러 다른 河川의 幾何學的 因子들의 分布狀態를 나타내주는 指標가 될 수 있다.

따라서 自然河川의 屈曲度는 曲率과 密接한 函數關係가 있으므로 錦江流域에 對한 曲率의 分布狀態를 把握코자 確率密度函數를 導入하여 分析하였다. Thakur 및 Schcidegger³⁾는 自然河川에 있어서 曲率分布는 正規分布를 가진다고 하였다. 이와같은 假定에 依하여 曲率에 對한 確率密度函數의 分布特性을 把握하기 위하여 錦江全水系(그림-1 참조)를 7個 小區間으로 나누어 地形圖(1:50,000)에서 1cm간격(實延長 0.5km)으로 分析한 資料數는 表-4와 같다.

表-4의 資料를 利用하여 各 區間別 算術平均, 分散度, 標準偏差 歪曲度 및 尖銳度를 求해 본 결과 表-5와 같다.

表 5에서 알 수 있듯이 歪曲度 같은 작고 모두 음(-)의 값을 나타내고 있는데, 이것은 曲率分布에 對한 確率密度函數가 오른쪽으로 기울고 있음을 알 수 있고, 尖銳도는 1.00에서 1.52사이 값들로 나타내고 있는데, 이는 正規分布狀態의 尖銳도 3보다 훨씬 작은 값으로서 確率密度函數가 大部分 平偏한 모양을 이루고 있다는 것을 알 수 있다. 또 같은 區間內에서 直線水路가 많은 部分의 尖銳도 같은 큰 값으로 나타났으며, 直線水路가 많지 않은 區間은 값이 작게 나타났다. 이는 直線水路部分의 曲率은 0(zero)이 되기 때문에 尖銳도를 增加시킨 것으로 풀이된다. 曲率의 方向角變化表示는 方向角이 왼쪽으로 變하면 陽의 값으로 나타났고, 反對方向이면 음의 값으로 表示했다. 이와같은 方向角의 變化方向을 고려하지 않은 曲率을 절대치 曲率(|C|)로 定義했으며, 이에 對한 分布特性을 表-6에 收錄했다.

表-6에서 알 수 있듯이 절대치 曲率(|C|)에 對한 確率密度函數는 尖銳도는 크게 나타난 반면 分散은 작게 나타났다. 이것은 平均値 주위에 大部分의 曲率值가 存在한다는 것을 나타내는 것으로서 自然河川水路에 있어서 最小抵抗을 받는 曲率值란 이 部分의 曲率值라는 것을 알 수 있다.

또한 錦江 7個區間別 蛇行密度를 파악하기 위하여 縱軸은 曲率로 잡고 橫軸은 累加確率로 잡아서 plot한 結果 그림-3과 같이 表示할 수 있었다. 그림-6에서 알

Table 5. Estimates of statistical parameters of curvature

區間	算術平均分 (rad)	分散度 (rad)	標準偏差 (rad)	歪曲度	尖銳度
1	0.0195	0.0090	0.0955	-0.3871	1.1550
2	0.0342	0.0082	0.0911	-0.7014	1.5190
3	0.0288	0.0075	0.0871	-0.5811	1.4283
4	0.0117	0.0087	0.0936	-0.1999	1.0810
5	0.0236	0.0073	0.0863	-0.4521	1.3222
6	0.0114	0.0086	0.0931	-0.2320	1.0910
7	0.0120	0.0082	0.0909	-0.2286	1.1194

Table 6. Estimates of statistical parameter of absolute |C|

區間	算術平均分 (rad)	分散度 (rad)	標準偏差	歪曲度	尖銳度
1	0.0960	0.0002	0.0128	-5.7690	41.5530
2	0.0954	0.0002	0.0147	-4.1474	30.7665
3	0.0891	0.0004	0.0198	-2.5274	10.4421
4	0.0921	0.0003	0.0172	-3.0773	13.8180
5	0.0858	0.0005	0.0225	-1.8477	6.1819
6	0.0917	0.0003	0.0170	-3.4312	16.1037
7	0.0897	0.0003	0.0166	-2.4103	10.5452

수 있듯이 I, II, IV 및 VI 區間이 傾斜가 急한 直線으로 나타났으며 V 區間만은 완만한 傾斜의 形態로 나

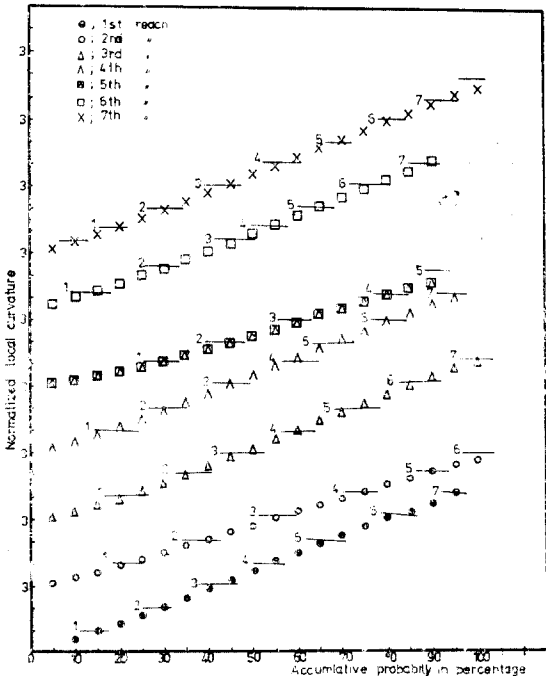


Fig. 6. Probability distribution functions of local curvature.

타났다. 이는 I, II 및 VI 區間이 自然水路의 蛇行帶가 큰 값으로 形成되어서 傾斜가 크게 나타난 것으로 사료되며, IV 區間은 水路曲率變化가 심한 區間이므로, V 區間의 直線水路가 많은 區間이므로 이 區間의 傾斜는 완만한 것이 아닌가 판단된다.

2.3.2 河幅

河幅²⁾은 流量과 密接한 關係가 있는 因子로서 流量이 增加하면 河幅과 蛇行帶도 增加한다. 一般의 河幅²⁾의 分布도 正規分布를 이루는 것으로 알려져 있다.

그러므로 各 區間別 河幅의 資料는 流量을 一定流量(滿水流量)으로 잡고 地形圖上에서 曲率과 같은 方法으로 資料를 얻어 河幅의 分布狀態를 추적하였다.

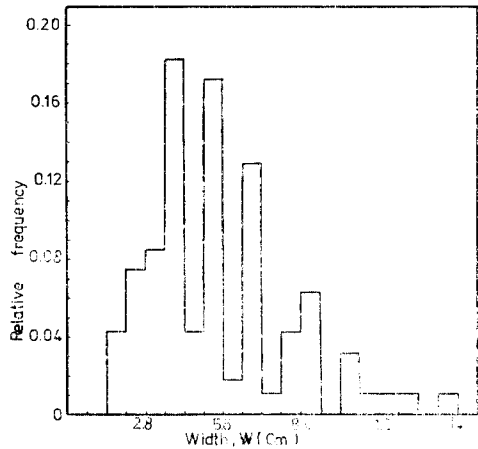


Fig. 7. Probability density functions of width for I Reach of Geum river system

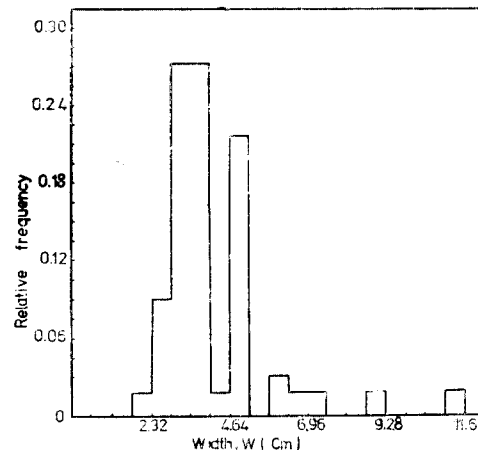


Fig. 8. Probability density functions of width for II reach of Geum river system

本水系에 對한 資料分析中 水路의 條件과 橫斷面圖 入手가 不可能하여 下流區間인 I, II區間의 資料만 分析이 可能하였다. 이 두 區間의 資料들에 對한 分布特性을 統計處理한 結果 表-7과 같으며, 河幅의 分布狀態를 確率密度函數에 依해 나타낸 것이 그림-7과 그림-8이다.

또 이들 變化狀態를 좀 더 具體的으로 把握하기 위하여 變化係數를 使用하였는데, 이 變化係數는 標準偏差를 算術平均으로 나눈 값으로서 이를 水路의 曲率(C), 절곡치曲率(|C|) 및 河幅(W)에 適用하여 表-8에 表示하였다.

表-8의 分析結果에서 알 수 있듯이 曲率의 變化係數가 절곡치曲率의 變化係數值보다 매우 큰 값으로 나타나는데 이는 方向角의 變化를 고려했기 때문에 陰의 값과 陽의 값 사이의 偏差 때문인 것으로 推定된다.

Table 7. Estimates of Statistical parameter for Width (W)-Geum River

區間	算術平均	分散度	標準偏差	歪曲度	尖銳度
1	5.6085	5.9253	2.4474	0.9415	3.8745
2	4.1696	2.5718	1.6182	2.2478	9.9189

Table 8. Coefficients of Variability for C, |C|, W-Geum River

區間	曲率(C)에 對한 變化係數	절곡치曲率(C)에 對한 變化係數	河幅에 對한 變化係數
1	4.8974	0.1333	0.4364
2	2.6637	0.1541	0.3881
3	3.0243	0.2222	*
4	8.0000	0.1867	*
5	3.6568	0.2622	*
6	8.1667	0.1854	*
7	7.5750	0.1851	*

* 河幅의 資料中 I, II區間을 除外한 나머지 區間은 地圖作業이 不可能 하였다.

2.3.3 蛇行比

그림-9와 같이 하나의 單一灣曲部를 생각했을 때 蛇行比(meander Ratio)¹⁾은 蛇行高(meander amplitude)를 蛇行波長(meander wave length)으로 나누는 것으로 定義된다.

$$\text{蛇行比} = \frac{L_0}{L_A} = \frac{BG}{AC}$$

여기서, $L_0(BG)$ 는 蛇行高이며, $L_A(AC)$ 는 蛇行波長이다. 蛇行比는 一般的으로 流量의 函數로 알려져 있으며 蛇行川에 있어서 상당히 重要한 因子이다. 蛇行比의 計算을 爲한 蛇行高와 蛇行波長의 計算은 線形一

般化 알고리즘²⁾을 導入하여 結果를 分析 하였는데, 錦江水系의 35個支流에 對한 分析結果는 表-9와 같다.

表-9의 資料를 河川次數別로 分析하여 表-10에 表示하였다.

表-10의 分析結果에서 알 수 있듯이 錦江水系의 小河川에 해당하는 3, 4, 5次의 平均 蛇行比가 0.2977 (약 0.3)로 나타나 尖銳도가 아주 높고 分散值가 작은 것으로 보아 蛇行比의 값이 0.3 부근에 많이 分布되어 있으며, 이는 錦江에서 가장 頻도가 많은 蛇行比 값이므로 治水의 觀點에서 볼 때, 水害後의 堤防복구는 직접 水路로 연결하는 것보다는 0.3의 蛇行比를 利用하여 堤防을 築造하는 것이 바람직하다고 推定된다.

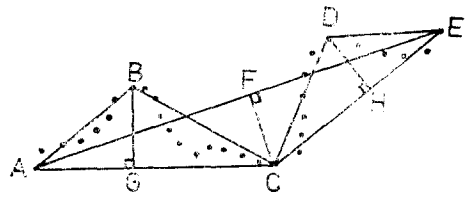


Fig. 9. Graphic representation of the Douglas and peucker line generalization algorithm

3. 結 論

錦江水系의 蛇行特性을 구명하기 爲해 河川網의 特性因子를 中心으로 河川屈曲度와의 關係分析과 蛇行河川의 幾何學的 因子를 統計分析한 結果 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1. Herton의 河川地形의 3大法則을 延長한 河川次數와 屈曲度의 關係를 分析한 結果 相關性이 좋지 않은 것으로 나타났다. 이는 河川次數의 變化에 따른 屈曲度의 變化는 一定한 比例로 變化하지 않고 있음을 類推할 수 있으며, 또한 流域形狀을 나타내는 河川數의 分岐率과 延長比에서는 錦江水系가 榮山江과 萬項江水系보다 큰 값으로 나타났다. 이는 錦江水系가 一般的으로 圓形流域을 形成하고 있는 것으로 判斷된다.

2. 流域面積과 河川延長 및 屈曲度와의 關係分析에서 流域面積과 河川延長間의 相關關係는 높은 相關性을 보여주고 있으며, 流域面積과 屈曲度와의 關係는 相關性이 0.248로서 比較的 작은 값으로 나타났다. 이는 流域面積의 變化에 따른 屈曲度의 變化는 거의 相關이 없는 것으로 推定된다.

Table 9. Statistical analysis of meander ratio—Geum river

統計因子			河川次數	算術平均	分散度	標準偏差	歪曲度	尖銳度
水系名								
월	화	천	3	0.1562	0.0117	0.1148	-0.2242	1.3305
조		천	4	0.2753	0.0400	0.1320	0.8083	2.1129
조		천	3	0.1605	0.0091	0.0994	-0.0318	2.0629
천	수	천	4	0.3396	0.0656	0.2701	0.5033	2.2413
유	두	천	3	0.3268	0.0293	0.1796	0.7051	2.1002
병		천	3	0.1858	0.0156	0.1298	0.5092	2.3677
미	호	천(분류)	4	0.1966	0.0166	0.1216	1.6967	5.5936
백	곡	천	3	0.1378	0.0051	0.0746	-0.9086	2.2764
무	심	천	4	0.1411	0.0018	0.0452	-0.5076	2.0449
무	심	천	3	0.1498	0.0063	0.0809	0.3831	2.1859
보	강	천	5	0.0898	0.0011	0.3510	-1.0218	3.8268
초	평	천	3	0.3220	0.0398	0.2037	0.9078	3.4607
미	호	천(분류)	5	0.1480	0.0073	0.0890	0.3652	2.0220
금	강(분류)		7	0.2329	0.0440	0.2155	1.5057	4.8783
금	강(분류)		6	0.6346	0.1695	0.4164	0.7769	2.9600
유	구	천	5	0.3841	0.1145	0.3534	0.6945	1.6713
유	등	천	5	0.4399	0.3092	0.5722	3.0895	1.2087
감		천	5	0.3602	0.0688	0.2781	1.6412	4.4137
보	청	천	5	0.3733	0.0556	0.2829	0.5652	2.0663
송		천	5	0.3451	0.0774	0.2874	0.8260	2.5830
남	대	천	5	0.4176	0.1264	0.3713	0.8677	2.7940
금	강(분류)		5	0.4531	0.1449	0.3872	1.1991	4.4651
진	산	천	4	0.3274	0.0735	0.2897	0.8015	2.3684
금	강	천	4	0.4139	0.1442	0.3914	1.7785	5.8695
경	안	천	4	0.1900	0.0078	0.0978	-1.0816	2.4796
금	강(분류)		4	0.2745	0.0360	0.1950	0.7712	2.5598
승		천	4	0.2758	0.0171	0.1333	-0.5493	2.7784
남	대	천	4	0.5616	0.6761	0.8436	2.6234	9.3561
구	리	천	4	0.5299	0.0781	0.2987	1.2122	3.0998
경	자	천	4	0.3131	0.0421	0.2163	0.8538	3.0702
주	자	천	4	0.5683	0.2051	0.4803	1.4098	3.9175
봉	창	천	4	0.2266	0.1176	0.1123	-0.0982	2.2028
옥	천	천	4	0.5974	0.2213	0.4834	1.5551	4.7670
갑		천	4	0.2896	0.0404	0.2045	1.0097	3.4887
논	산	천	4	0.2248	0.0066	0.0853	0.2520	2.2908

Table 10. Mean meander ratio of 3, 4, 5 stream order—Geum river

河川次數	算術平均	分散度	標準偏差	歪曲度	尖銳度
3	0.1974	0.2024	0.1432	1.4003	6.1456
4	0.3505	0.1460	0.3828	4.4438	30.3092
5	0.3801	0.0979	0.3142	1.2763	4.8504
錦江全水係	0.2997	0.0962	0.3104	4.2959	30.5014

3. 河川傾斜과 河川屈曲도와의 關係에서 次數가 작은 河川일 수록 河川傾斜는 增加되며, 河川次數가 增加할 수록 河川屈曲度는 減少하는 傾向을 나타내고 있으므로 河川傾斜가 增加할 수록 比較的 屈曲度는 增加함을 알 수 있다.

4. 確率密度函數에 의한 水路曲率의 分布狀態를 알기 위한 尖銳度分析은 錦江 7個區間中 V區間이 가장 작은 값(表-6 참조)으로 나타났다. 이는 이 區間이 直線水路가 가장 많음을 뜻한다.

5. 水路의 蛇行密度를 判別하기 위한 絕對值曲率의 分散을 計算해 본 결과 本水系에서는 III, IV, V 區間이 가장 큰 값으로 나타났다(表-6). 이 區間은 蛇行密度가 가장 높은 區間으로 이는 分散值가 蛇行 정도를 判別하는 指標가 됨을 알 수 있다.

6. 本水系에서 分析한 河川平均 蛇行比의 分布는 $0.0898 \sim 0.6346$ 이고 全水系의 3, 4, 5次的 平均蛇行比는 약 0.3 이었다.

그러므로 沿革的 觀點에서 볼 때, 이들 値는 錦江水系의 小水路에 適用할 수 있는 資料이므로 이 資料의 活用도가 기대된다.

謝 辭

本 研究는 文敎部 特性化工大研究費에 의하여 完成된 論文으로 研究費를 支給해준 文敎部 當局에 感謝를 드리며, 本 論文이 完成될 때까지 도와준 忠北大學校 水工研究室 大學院 在學生 李鍾衡, 柳秉軫, 金相燮 君에게도 감사한다.

參 考 文 獻

1. Bagnold, R.A., "Some Aspects of the Shape of River Meanders", U.S. Geol. Survey, Prof. Paper, 282-E, 1960, pp.135~144.
2. Chang, Ting Pao, "Statistical Analysis of Meandering River Geometry", University Microfilm International, 1969, pp.17~64.
3. Gregory, K.J., "River Channel Change," Coiley, New york, 1977, pp.145~300.
4. Henry, M. Morris, James M. Wiggert, "Applied Hydraulics in Engr.," 1972, pp.502~505.
5. Morisawa, M.E., "Streams, Their Dynamics

and Morphology," McGraw-Hill, New york, 1963, pp.136~140.

6. Onesti, L., "Stream Sinuosity as it Relates to the Network Hierarchy of the Pecos River", Annarber, Michigan, U.S.A., London England, 1973, pp.1~105.
7. Raudkivi, A.J., "Advanced Introduction to Hydrological Processes and Modelling", Pergaman press, Sydney, 1979, pp.172~179.
8. Schuma, S.A., "River Morphology", Colorado state University Editor, Pennsylvania, 1972, pp.235~360.
9. Shahiahan, M., "Factors Controlling the Geometry of Fluvial Meanders", Bulletin of International Association of scientific Hydrology. XV. 3, 1970, pp.13~24.
10. Stall, J.B., and Fok, Y.S., "Discharge as related to stream morphology", symposium on River Morphology, General Assembly of Bern, Switzerland, 1967, pp.224~235.
11. 高在雄, "灣曲水路에 의한 河床變動에 관한 研究", 韓國水文學會誌, 제 8 권 2號, 1975.12, pp.75~80.
12. 송재우, "우리나라 河川의 蛇行特性에 관한 研究" 延世大學校 大學院, 1989.12, pp.1~16
13. 安相鎭, "流域의 河川形態學的 特性因子와 流出 및 水理幾何問의 相關性", 仁荷大學校 大學院, 1980, pp.7~10.
14. 安相鎭外 2人, "小河川水系의 流域特性에 관한 研究", 韓國水文學會誌, 第10卷 1號, 1977, pp.71~77.
15. 尹龍男, "위치에너지 개념에 의한 水系의 河川形態學的特性分析" 대한토목학회지, 제21권 2號, 1973, pp.95~105.
16. 李大澈, "萬頃江 水系의 流域特性과 流量과의 相關性 研究", 檀國大學校 大學院, 1977, pp.5~7.
17. 張仁奎, "榮山江 流域의 河川形態學的 特性에 관한 研究", 순천수산전문대학 論文集, 15권 1호, 1981, pp.79~85.