

〈論 文〉

漢江水系の蛇行에 關한 研究

A study on the River Meanders in the Han River System

金 宗 燮*

Kim, Jong Sub

金 陽 洙**

Kim, Yang Su

安 相 鎭*

Ahn, Sang Jin

姜 瑄 沅**

Kang, Kwan Won

ABSTRACT

In recent years, an increment of river engineering activities and more intensive use of flood plain, the river geomorphology has attracted considerable attention owing to an extensive land reclamation.

One of the important problems is the maintenance of river meanders and almost all natural rivers exhibit the tendency to be a meander.

A statistical analysis is applied to typifying their shapes and the meander characteristics are analyzed by channel model of line generalization algorithm in this study.

This method is applied to Han 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 channel model of line generalization algorithm gives good results in analysis of meander characteristics.

要 旨

河川敷地の 使用과 개간事業 및 河川을 工學的인 側面에서 維持管理해야 된다는 것이 活發해짐에 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 가장 重要하다 할 것이다.

蛇行特性의 分析에는 여러가지의 理想的인 모델을 使用하여 왔으나 이와같은 理想的인 모델에서 얻어진 資料나 幾何學的 變數의 決定方法은 個人의 選好에 따라 많은 差를 보아 왔다.

本研究에서는 最近의 새로운 方法인 線形一般化 알고리즘에 依한 水路모델을 蛇行特性分析에 使用하였으며, 또한 水路形態의 모델化에서의 不合理함을 最大한 除去하기 위하여 統計的인 方法을 使用하였다.

그 結果 曲率의 分散정도는 蛇行密度를 判別할 수 있는 指數가 될 수 있고 尖銳度는 어떤 水路內에 直線 水路의 特性을 表示하는 尺度가 됨을 알 수 있었다.

* 忠北大學校 工科大學 助教, *副教授

** 仁荷大學校 大學院 博士過程, **教授

1. 序 論

自然河川의 重要한 特性의 하나가 蛇行性向이다. 이 蛇行現象은 流心의 變化를 가져올 뿐만아니라 航路水深의 維持 곤란, 取水口의 維持 및 기능마비, 제방의 파괴와 같은 水工構造物의 局部洗掘에 따른 河川災害를 계속 유발시키고 있다. 河川의 維持 및 河川災害 觀點에서 볼때 河川蛇行問題는 大端히 重要한 것이다.

그래서 今世紀 初부터 河川蛇行에 대한 體系의이고 科學的인 研究가 進行되어 왔다.

蛇行은 여러가지 複合的인 要因에 依하여 生成되어 發達되고 있으며 力學的인 考察과 함께 計量 形態學的인 分析으로 蛇行特性의 一部가 밝혀지고 있으나 그 發生要因은 아직 定說이 없다고 볼 수 있다.

蛇行發生原因으로 提示되고 있는 學說을 살펴보면¹⁾ 地球自轉에 依한 影響, 흐름의 과도·Energy에 依한 影響, 堤防의 침식에 의한 침식물과 부유사에 의한 영향, 흐름의 局部的인 不安定에 의한 영향, 河床의 變動에 의한 영향, 에너지를 最小로 分散시키는 流路를 擇하려는 流水의 性質에 의한 영향등 여러가지가 있다.

本格的인 河川蛇行에 關한 研究는 美陸軍工兵團²⁾의 Mississippi 江을 對象으로 水路實驗結果 蛇行現象은 河川流量, 河床傾斜, 初期流入角 및 流送土砂등으로 蛇行의 規模가 決定된다고 하였으며, Inglis³⁾, Leopold와 Wolman²⁾, Dury³⁾, Speight³⁾, Chang²⁾, Brice³⁾, Hickin^{3,4)} Schumn³⁾등의 많은 學者들은 實驗 및 理論을 通하여 形態學的 및 幾何學的의 因子들의 統計處理로 많은 研究를 하였다.

한편 우리나라에서도 매년 되풀이 되는 水害와 堤防流失의 原因이 河道設計時 蛇行法則을 과소評價하였기 때문인 것으로 分析된 바 있다.

最近 우리나라 河川의 蛇行特性에 대하여는 高在雄¹⁾, 宋在偶¹⁾, 金陽洙¹⁾ 등에 의해 研究 發表되어 河川改修, 水路維持管理의 技術的인 檢討에 기여한 바 크다.

本 研究는 蛇行의 特性을 究明하기 위해 漢江流域의 全河川을 對象으로 Horton의 河川次數 決定法으로 圖上測定하여 河川形態學的의 特性因子를 얻었으며 또한 河川次數에 對한 屈曲度, 河川傾斜, 河川延長, 蛇行面積比 및 流域面積에 대하여 相關分析하였다.

그리고 統計 및 幾何學的의 理論을 背景으로 確率分布 函數와 確率密度函數에 立脚하여 水路의 曲率과 蛇行比를 統計 分析함으로써 漢江水系의 蛇行 特性을 究明하는데 目的이 있다.

2. 理論的 背景

2.1 河川網의 形態學的의 概念과 地形의 法則

流域의 地形은 降水에 의한 浸蝕과정을 통하여 항상 變化한다. 따라서 河川의 形態學的의 特性도 長期的으로 是 變化하게 되나 水文氣象學的의 因子 및 地質學的의 因子와 密接한 相關性이 있음을 推測할 수 있다. 흐름의 體系에 關한 變數特性과 河川網의 體系에 대한 幾何學的의 因子를 決定하는 方法은 Horton¹⁾과 Leopold 및 Miller²⁾에 의하여 具體化되었다.

流域內의 支流의 特性은 Horton의 法則과 水理幾何學的의 特性으로부터 그 相關性을 얻을수 있으며 1個 水路에 대한 幾何學的의 特性은 流域全體의 特性을 나타내는 變數가 될 수 있다.

Horton-Strashler의 河川次數概念은 河道의 水理學的의 特性이 空間的으로 어떻게 變動하는 가를 說明하는데 大단히 效果的인임을 밝혔다.

그러므로 Horton-Strahler의 法則은 參考文獻「14」에서 자세히 說明 된바 있으므로 本 稿에서는 重複되지 않는 理論 法則만을 소개코져 한다.

河川傾斜率은 次數別 河川傾斜의 比로서 定義된다.

$$\text{河川 傾斜率} = \frac{S_{u+1}}{S_u} \dots\dots\dots(1)$$

여기서 S_u ; u 次 河川의 傾斜

S_{u+1} ; $u+1$ 次 河川의 傾斜

또 Stall과 Fok¹⁰⁾에 의하면 河川平均屈曲度의 法則(Law of average Stream Sinuosity)은 河川次數와 河川屈曲度와의 關係로 表示되며 다음과 같이 表示된다.

$$l_n \sin = G + H_u \dots\dots\dots(2)$$

여기서 \sin ; 河川次數別 河川平均屈曲度이며, G , H 는 流域에 따라 決定되는 常數이다.

河川屈曲度는 無次元의 값으로써 河床屈曲度와 水路屈曲度로 大別되며 屈曲度에 가장 크게 영향을 미치는 要素는 流砂傾斜 및 流量이다. 河川의 屈曲도를 나타내는 方法에는 여러가지가 있으나 Chang²⁾은 (3)式, Schumn과 Brice는 (4)와 (5)式, 또한 Leopold와 Wolman은 (6)式으로 各各 表示하고 있다.³⁾

$$\sin = \frac{\lambda'}{\lambda} \dots\dots\dots(3)$$

$$\sin = \frac{L}{V_L} \dots\dots\dots(4)$$

$$\sin = \frac{L}{T_L} \dots\dots\dots(5)$$

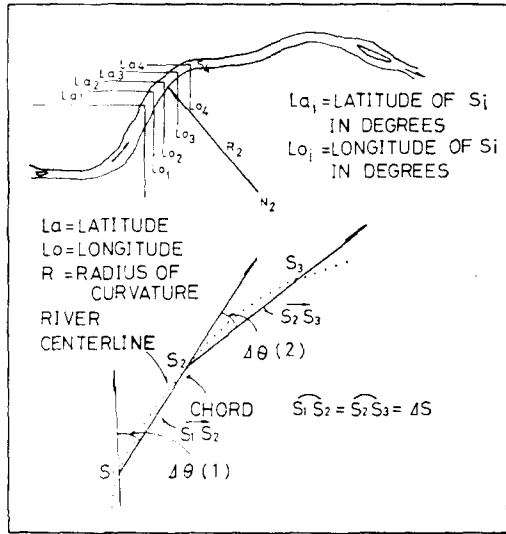


Fig. 1 Determination of Local Curvature

$$\sin = \frac{T_L}{V_L} \dots\dots\dots(6)$$

여기서 sin은 河川屈曲度이고 λ'는 蛇行帶, λ는 蛇行波長이며, VL은 溪谷의 延長, TL는 最深線의 延長이다. 이때 最深線의 延長은 河川延長으로 代置할 수 있다.

2.2 統計 및幾何學的 理論

蛇行川의 幾何學的 資料處理를 위한 統計學的 접근 方法은 確率分布函數와 確率密度函數이다. 이들 函數들은 蛇行川의 幾何學的 因子들의 變化性을 記述하는데 使用된다. 確率變數값의 分布特性, 擴張의 程度, 分布의 偏倚를 알기 위하여 確率密度函數에 대한 모멘트를 취함으로써 밝힐 수 있는데 이들을 列舉해 보면 算術平均値, 分散度, 標準偏差와 分散係數, 歪曲度 및 尖銳度를 들 수 있다.

2.2.1 水路의 曲率

水路의 曲率에 대한 理論을 살펴보면 自然河川水路의 曲率은 Fig. 1에서 보는바와 같이 河川의 最深線을 따라 測定한 水路延長 S와 水路길이에 따라 變化하는 흐름 方向角 θ(S)와의 關係를 나타내는 것으로서 다음 式으로 定義된다.²⁾

$$C(S) = \frac{d\theta(S)}{dS} = \frac{\Delta\theta(S)}{\Delta S} \dots\dots\dots(7)$$

여기서 ΔS는 水路延長 S를 一定하게 細分시킨 거리간격이며 Δθ(S)는 ΔS에 대한 方向角의 變化이다.

ΔS(Si)의 부호와 크기는 벡터의 점곱(dot product)과 크로스곱(cross product)에 의해 연속적인 세점(Li-1, Li, Li+1)으로부터 얻을 수 있으며 이 부호는 方向角의 變化方向을 나타낸다.

$$\Delta\theta(S_i) =$$

$$\cos^{-1} \left[\frac{\Delta La_{i-1} \cdot \Delta La_i + \Delta Lo_{i-1} \cdot \Delta Lo_i}{(\Delta La_{i-1}^2 + \Delta Lo_{i-1}^2)^{1/2} \cdot (\Delta La_i^2 + \Delta Lo_i^2)^{1/2}} \right] \quad (8)$$

여기서 La, Lo는 各各 x軸, y軸에 해당하는 좌표이며, ΔLo_{i-1} = Lo_i - Lo_{i-1}, ΔLo_i = Lo_{i+1} - Lo_i이다. 式(7)은 Δθ의 絕對值를 表示하고 있고 Δθ의 正(+), 負(-)의 부호는 式(9)에서와 같이 벡타크로스곱(cross product)에 의해 表示할 수 있다.

$$\vec{S}_{i-1}S_i \times \vec{S}_iS_{i+1} = \Delta Lo_{i-1} \cdot \Delta La_i - \Delta La_{i-1} \cdot \Delta Lo_i \quad (9)$$

2.22. 線形一般化 알고리즘

自然河川 水路에 있어서 하나의 單一灣曲部를 sine一般化曲線으로 理想化 할 수 있는데 이러한 만곡부는 만곡부의 양면곡점을 잇는 直線과 이 直線에 대한 最長法線으로 model化 시킬 수 있다. 이것이 곧 Douglas와 Peucker³⁾의 線形一般化 algorithm이다. 이 方法을 適用하므로써 하나의 model에 依해 여러가지 水路의 幾何學的 特性을 效果의으로 추적하고 蛇行의 特性이 아닌 局部的인 變化要因을 效果의으로 처리하게 된다. 이러한 幾何學的 理論으로 하나의 單一灣曲部를 고려했을 때 蛇行比(meander Ratio)는 蛇行高를 蛇行波長으로 나누는 것에 의해 定義할 수 있다. (Fig. 2參照)

$$\text{蛇行比}(MR) = \frac{HL}{\lambda} = \frac{BG}{AC} \dots\dots\dots(10)$$

여기서 LH는 蛇行高, λ는 蛇行波長이다. 또한 蛇行水路에 있어서 灣曲部의 面積은 流量과 密接한 關係가 있다.

따라서 蛇行面積比(meander Area Ratio)는 單一水路에 있어서 만곡부의 面積比를 나타내는 式으로서 다음과 같이 定義된다.

$$\text{蛇行面積比}(MAR) = \frac{S_A}{L_S} \dots\dots\dots(11)$$

여기서 SA는 線形一般化 알고리즘에 의한 전체 만곡부의 面積, LS는 線形一般化 알고리즘에 의한 蛇行波長 전체의 습이다.

3. 資 料

本 研究를 위해 使用된 資料는 漢江全水系를 포함하

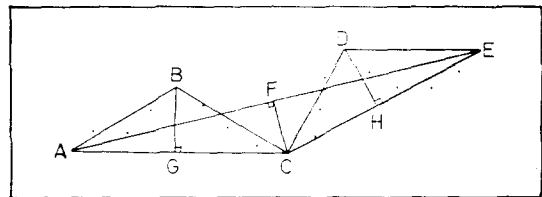


Fig. 2 Graphic representation of the Douglas and Peucker line generalization algorithm

는 56枚의 地形圖로부터 直接 획득하였다. 使用된 地形圖는 國立地理院에서 製作한 1:50,000地圖를 利用하였다.

河川의 形態學的 特性資料인 河川次數, 各 河川의 流域面積 및 河川延長, 河川傾斜는 地形圖로부터 直接 測定하였으며 河川의 統計學的 및 幾何學的 理論分析에 必要한 水路의 曲率, 屈曲度, 傾斜 蛇行比 및 蛇行面積比 등은 地形圖에서 얻은 값을 앞장의 理論의 背景에서 說明한 理論式에 의하여 算出하였다.

4. 資料의 分析 및 考察

4.1 漢江水系의 形態學的 特性分析

漢江水系의 形態學的 特性分析은 Horton의 3大法則이 本 水系에도 成立하는가를 檢査하기 위하여 26個

의 支流 및 本流 流域에 대하여 形態學的 特性資料인 河川次數, 河川延長, 流域面積, 河川傾斜, 屈曲度, 蛇行面積比를 決定하여 表-1에 收錄하였다.

여기서 河川次數는 Horton-Strshler의 河川次數決定法을 利用하였고 地圖作業上 分析이 可能한 4次以上의 主要河川만을 對象으로 삼았다. 河川延長은 地形圖에서 直接求長器로 測定하였으며 河川傾斜는 各 次數 河川의 始點과 終點間의 標高差를 河川延長으로 나눈 값을 該當次數河川의 傾斜로 하였으며, 屈曲度(Sinuosity)와 蛇行面積比(Meander Area ratio)는 式(3)과 (11)으로 求하였다. Horton의 3大法則에서의 常數는 河川次數와 各 特性因子間에 回歸分析을 하여 求하였으며 그 結果는 다음과 같다.

河川數의 法則

$$L_n N_w = 10.13 - 1.45n \quad (12)$$

表-1 漢江水系의 河川形態學的 特性因子

支流名	特性因子	河川次數	河川길이 (km)	排水面積 (km ²)	河川傾斜	屈曲度	蛇行面積比
옥 동 천		5	40.0	486.8	0.008	1.120	0.7520
동 남 천		5	35.9	215.4	0.01	1.448	3.3982
동 배 천		5	40.0	228.6	0.008	1.294	0.3670
송 천		5	50.5	349.1	0.007	1.305	0.5199
오 내 천		5	43.5	447.5	0.006	1.169	0.4547
평 창 강		5	103.4	906.0	0.007	1.275	0.8612
계 천 강		6	43.2	546.3	0.002	1.469	0.6476
주 천 강(I)		4	34.0	233.0	0.005	1.289	0.6485
" (II)		5	50.1	606.8	0.004	1.611	0.7887
섬 강(I)		5	62.7	1055.3	0.002	1.251	1.0742
" (II)		6	21.5	1485.6	0.0009	1.126	1.1195
달 천 강(I)		4	25.1	116.1	0.004	1.073	0.6693
" (II)		6	84.6	1621.5	0.002	1.107	1.0502
칭 미 천		5	42.5	595.6	0.0005	1.124	0.8000
북 하 천		5	20.8	310.5	0.001	1.051	0.5413
남 한 강(주류)		5	42.5	291.8	0.006	1.211	0.6303
" (I)		6	51.1	1411.2	0.0037	1.511	0.9782
" (II)		6	71.6	2917.8	0.001257	1.455	0.9445
" (I)		7	91.2	5821.9	0.001316	1.382	1.6777
" (II)		7	128.2	12514.0	0.000642	1.207	3.3320
북 천		4	24.9	305.4	0.007	1.122	0.4524
소 양 강(I)		6	44.7	1109.4	0.00313	1.515	0.9769
" (II)		6	75.0	2843.5	0.0016	1.402	1.6989
북 한 강		7	79.0	10834.8	0.000759	1.188	3.1799
홍 천 강		5	58.3	751.1	0.003	1.240	1.0763
"		6	69.8	1570.7	0.001146	1.322	1.4066

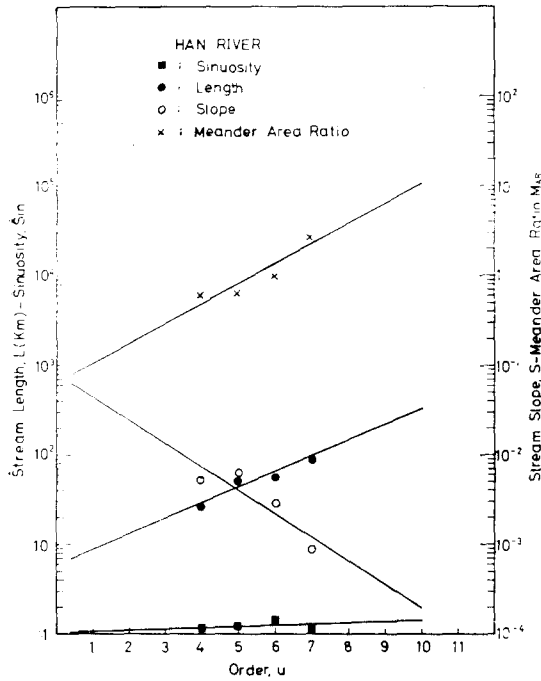


Fig. 3 Stream Order VS Stream length, Slope, Sinuosity, Meander Area ratio

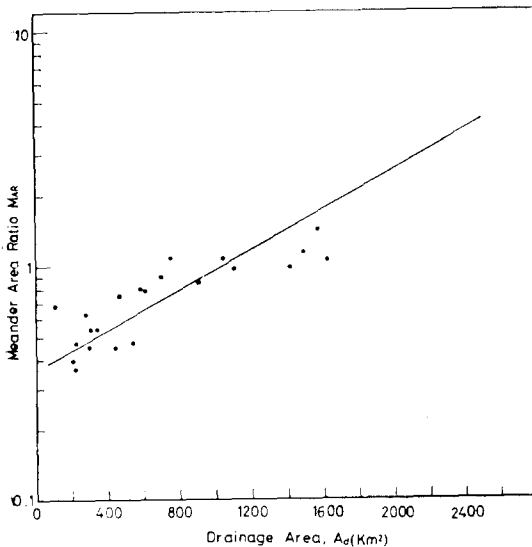


Fig. 4 Drainage Area VS Meander Area Ratio

河川平均延長의 法則

$$l_n L_u = 1.79 - 0.4 \cdot u \quad (13)$$

河川平均傾斜의 法則

$$l_n S_u = -2.50 + 0.60u \quad (14)$$

河川平均屈曲度の 法則

$$l_n \sin = 0.05 + 0.03u \quad (15)$$

또한 河川次數와 蛇行面積比와의 關係를 回歸分析한 結果 다음(16)式을 얻을 수 있다.

$$l_n M_{AR} = -2.74 + 0.51u \quad (16)$$

表-1의 資料로 河川次數에 對한 河川延長, 河川傾斜, 河川屈曲度 및 蛇行面積比와의 關係를 半對數紙에 圖示한 것이 Fig.3 다.

式(12), (13), (14)에서와 같이 Horton의 3大法則을 本 水系에 適用시켜본 結果 높은 相關性을 나타냈으며 直線表示가 可能함을 Fig.3에서 알 수 있다. 이것은 漢江水系의 水系組織이 無作爲한 것이 아니라 어떤 規則性을 가지고 發達되어 있음을 말해 주고 있다.

式(15)은 河川次數와 屈曲度の 關係를 數式으로 表示한 것이며 相關係數의 값은 0.625였다. Onesti⁹⁾는 Pecationia 河川에 對하여 河川屈曲度の 法則을 適用시킨 結果 그 相關性이 $r=0.212$ 였으며, 錦江流域에서의 相關性은 $r=0.155$ 을 얻었다.¹²⁾ 이는 河川次數變化가 屈曲도에 큰 영향이 없음을 말해 주고 있다.

이에 比하여 漢江流域은 比較의 良好한 편이나 역시 좋은 相關性이 아님을 알 수 있다.

河川次數와 蛇行面積比의 關係에 있어서는 相關關係가 $r=0.948$ 로 높은 相關性을 보여 주고 있다. 따라서

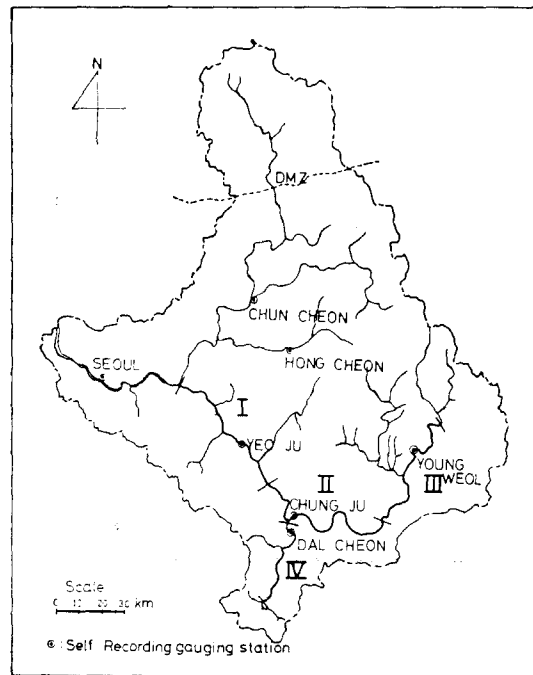


Fig. 5 Han River basin map with the selected Reach Area

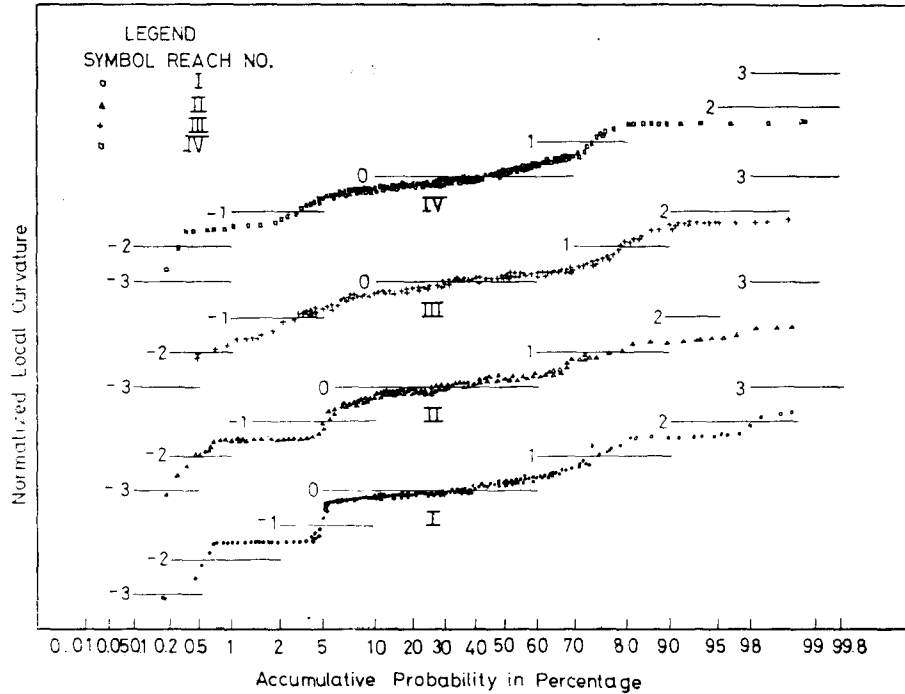


Fig. 6 Probability Distribution Function of Local Curvature

次數의 增加에 따라 蛇行面積도 커진다는 것을 뜻하고 있다.

Fig.4는 流域面積과 蛇行面積比를 圖示한 것이며 關係式은 式(17)이며 相關係數는 $r=0.830$ 이다.

式(18)은 流域面積과 屈曲度의 關係式이며 相關係數가 $r=0.0078$ 로 相關性이 없음을 알 수 있다.

$$I_n M_{AR} = 0.0002 A_d - 0.45 \quad (17)$$

$$I_n S_{in} = 3 \times 10^{-7} A_d + 0.231 \quad (18)$$

4.2 蛇行的 統計 및 幾何學的 分析

自然河川은 抵抗力을 最小로 받는 形態로 점점 接近해지며 抵抗力이 最小가 될때 水路의 變動은 없게되고 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 따라서 自然河川의 屈曲度는 曲率과 密接한 函數關係가 있으므로 漢江流域에 對한 曲率의 分布狀態를 把握코져 確率分布函數와 確率密度函數를 導入하여 分析하

였다.

4.2.1 水路의 曲率分析

Thakur와 Schidegger²⁾는 自然河川에 있어서는 曲率分布를 가진다고 하였다. 이와같은 假定下에 曲率에 對한 確率密度函數의 分布特性을 把握하기 위하여 漢江水系中 南漢江 水系(Fig.5 參照)를 地形圖(1:50,000)에서 4個의 小區間으로 나누어 0.5cm(實延長 0.25km)으로 細分하였으며 分析한 資料數는 表-2와 같다. 이 資料로 南漢江 4個區間에 對한 曲率分布狀態를 알기 위해 確率紙에 圖示한 結果線形的 關係가 있음을 Fig.6에서 알 수 있다. Fig.6에서 알 수 있듯이 各區間에서 曲率이 集中 分布하고 있는 部分은 그 區間的 曲率 크기에 對한 密度를 말해주고 있으며 급격히 增加한 部分은 水路曲率의 變化가 크기 때문이라고 볼 수 있다.

表-2의 資料를 利用하여 水路의 曲率에 對한 確率

表-2 曲率分析에 利用된 資料

區 間	資 料 數	河 川 次 數	河 川 延 長(km ²)	備 考
I	219	7	54.75	여주지점
II	212	7	53.0	충주지점
III	216	6.7	54.0	영월지점
IV	216	6	54.0	달천지점

表-3 水路의 曲率에 對한 統計的因子的 推定

區 間	算術平均(rad.)	分散度(rad. ²)	標準偏差(rad.)	歪曲度	尖銳度
I	0.1187	0.7762	0.8810	-0.1150	4.4026
II	0.1439	0.8253	0.9084	-0.1469	3.2420
III	0.0754	0.5477	0.7401	0.0433	3.7962
IV	0.1364	0.6187	0.7865	-0.0193	3.8124

表-4. 絕對值 曲率의 統計的因子的 推定

區 間	平均值 $ \bar{C} $ (rad.)	分散度(rad. ²)	標準偏差(rad.)	歪曲度	尖銳度
I	0.5978	0.4313	0.6568	1.1943	3.1815
II	0.6577	0.4114	0.6414	0.8566	2.3461
III	0.5450	0.2550	0.5050	1.3501	3.7025
IV	0.5814	0.2978	0.5457	1.2569	3.7195

表-5. 曲率(C(S))과 絕對曲率(|C|(S))과의 變化係數

區 間	$\frac{SD}{C}$	$\frac{SD}{ C }$
I	7.4252	1.0987
II	6.3150	0.9752
III	9.8116	0.9265
IV	5.7676	0.9386

分布特性을 파악코저 確率密度函數의 媒介變數인 算術平均, 分散度, 標準偏差, 歪曲度 및 尖銳度를 各 區間別로 求한 것이 表-3이다. 表-3에서 歪曲度の 負(-) 値는 曲率分布에 對한 確率函數가 오른쪽으로 기울고 있음을 뜻하며 또한 正(+) 値의 값은 왼쪽으로 기울고 있음을 뜻한다. 따라서 橫軸方向으로 曲率이 增加할 때 歪曲度の 값이 負일때는 正值일때 보다 算術平均 値가 比較的 크다. 尖銳度는 正規分布狀態의 尖銳度인 3보다 약간 큰 값이며 이것은 確率密度函數가 大部分 正規分布狀態보다 뾰족하다는 것을 알 수 있다. 또 流域內에 多曲水路가 많은 區間은 尖銳度의 값이 크게 나타났으며 많지않은 區間은 작게 나타났다. 이것은 直線水路部分의 曲率은 0이 되므로 尖銳度를 增加시키 기 때문인 것으로 풀이된다. 結果的으로 尖銳度는 直線水路가 많고 적음을 判斷하는 資料가 됨을 알 수 있다.

4.2.2. 絕對值 曲率의 分析

曲率의 方向角 變化에 있어서 蛇行의 方向角이 上向 이면 正(+), 下向이면 負(-)의 값으로 表示할 때 이와같은 方向角의 變化方向을 고려하지 않은 曲率을 絕對值 曲率(|C|(S))로 定義했고 그 資料는 表-4와 같으며 絕對值 曲率에 對한 分析結果도 같이 收錄하

였다. 表-4에서 $|C|(S)$ 의 分散度는 表-3에서의 C(S)의 分散度 값에 1/2~1/3배임을 나타내고 있다. 이것은 $|C|(S)$ 의 平均值 주위에 大部分의 曲率의 값이 存在한다는 것으로서 最小抵抗을 받는 曲率值란 이 部分의 曲率值를 말한다. 또한 $|C|(S)$ 에서의 平均值를 역으로 하면 曲率의 平均半徑이 되며 다음과 같이 定義할 수 있다.

$$R_m = \frac{1}{|C|(S)} \tag{19}$$

따라서 平均半徑 R_m 은 원호로서 간주되는 一定한 區間의 만큼부에 對한 曲率半徑의 一般的인 定義와 一致된다. 表-5는 區間別로 C(S)와 $|C|(S)$ 의 變化係數를 나타낸 것으로서 通常 變化係數(C_v)는 다음과 같이 表示한다.

$$C_v = \frac{\text{標準偏差}}{\text{平均}} \dots\dots\dots(20)$$

(20)式의 關係를 表-5에서 살펴보면 0.926~1.098의 범위로서 우리는 河川의 크기로는 분명히 어떤 影響을 가지고 있지 않다고 결론을 얻을 수 있다.

4.2.3 蛇行比

蛇行比는 一般的으로 流量의 函數로 알려져 있으며 蛇行川에서 重要的 因子라 할 수 있다. 蛇行比를 얻기 위한 蛇行高와 蛇行波長의 計算은 線形一般化 알고리즘을 導入하여 算出하였다. 蛇行比(M_R)은式(10)에 依한 河川次數別로 確率密度函數의 媒介變數들을 分析하여 結果 表-6과 같다.

表-6에서 보는 바와 같이 漢江水系의 主를 이루는 河川은 5次河川으로서 尖銳度가 높고 分散度가 比較的 작으며 蛇行比의 값이 0.39가 됨을 알 수 있다. 이는 南漢江에서 가장 頻도가 많은 蛇行比의 값으로서 治水

表-6 河川次數別 蛇行比

매개 변수 하천 차수	標準偏差	平均	分散度	歪曲度	尖銳度
4	0.1651	0.2759	0.0273	1.0695	4.1359
5	0.3042	0.3929	0.0925	1.9626	8.0894
6	0.5305	0.4510	0.2814	1.1469	2.7255
7	1.1011	0.2950	1.0214	0.5028	0.7325

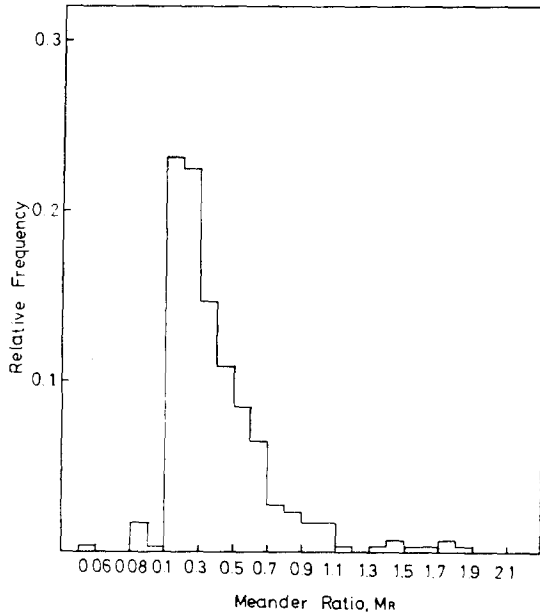


Fig.7 Probability Density Function of Meander Ratio

의 觀點에서 볼때 堤防築造時 直線水路로 연결하는 것 보다는 0.39의 蛇行比를 利用하는 것이 바람직 하다고 思料된다. Fig. 7은 5次河川에 對한 蛇行比의 資料를 確率密度函數에 의해 圖示한 것으로 蛇行比의 分布狀態를 쉽게 알 수 있다.

5. 結 論

漢江水系의 蛇行特性을 究明하기 위해 河川網의 特性因子를 中心으로 相關性 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. Horton의 3大法則을 延長한 河川次數와 屈曲度와의 相關分析은 좋지 않은 相關關係로 나타났다. 이것은 河川次數에 따른 屈曲度の 變化는 一定한 比例로 變化되지 않고 있음을 알 수 있으며 또한 流域面積과 屈曲度와의 關係는 전혀 相關성이 없음을 알았다.

2. 水路曲率의 分布狀態를 알기 위하여 確率密度函數의 媒介變數인 尖銳度 分析은 南漢江 4個區間中 I區間이 가장 크다는 것을 알 수 있었다. 이것은 I區間에 直水路가 가장 많음을 뜻한다.

3. 水路의 蛇行密度를 判別하기 위한 絕對值 曲率(|C|(S))의 分散도는 曲率(C(S))의 1/2~1/3倍였으며 이것은 |C|(S)의 平均値 주위에 各 區間內의 大部分의 曲率의 分布하고 있음을 알 수 있었고 |C|(S)의 平均曲率半徑이 된다.

4. 本 水系에서 分析한 4,5,6,7次 河川의 平均蛇行比는 尖銳도가 가장 큰 5次 河川의 平均値 0.39로 代表할 수 있으며 이는 治水的 觀點에서 볼때 直接 利用할 수 있는 資料가 될것으로 기대해 본다.

參 考 文 獻

- Bagnold, R.A., "Some Aspects of the Shape of River Meanders", U.S. Geol. Survey, Prof. Paper, 282-E, 1960, pp.135~144.
- Chang, Ting Pao, "Statistical Analysis of Meandering River Geometry", University Microfilm International, 1969, pp.17~64.
- Gregory, K.J., "River Channel Change", Coiley, New york, 1977, pp.145~300.
- Henry, M. Morris, and M. Wiggert, "Applied Hydraulics in Engr.," 1972, pp.502~505.
- Morisawa, M.E., "Streams, Their Dynamics and Morphology", Mcgrow-Hill, New york, 1968, pp.136~140.
- Onesti, L., "Stream Sinuosity as it Relates to the Network Hierarchy of the Pecationica River", Annarber, Michingan, U.S.A., London England, 1973, pp.1~105.
- Raudkivi, A.J., "Advanced Introduction to Hydrological Processes and Modelling", Pergamon press, Sydney, 1979, pp.172~179.
- Schumn, S.A., "River Morphology", Colorado state University Editor, Pennsylvania, 1972.

- pp. 235~300.
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, "灣曲部水路에서의 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. 金陽洙 "錦江水系の 蛇行에 관한 研究", 韓國水文學會誌, 第十五卷一號, 1982. 3, pp. 33~42.
 13. 宋在偶, "우리나라 河川の 蛇行特性에 관한 研究" 延世大學校 大學院, 1980. 12, pp. 1~16.
 14. 安相鎭, "流域의 河川形態學的 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, 1980, pp. 7~10.
 15. 尹龍男, "漢江水系の 形態學的 特性과 頻度流量과의 相關性", 大韓土木學會誌, 제 21 권 1 호, 1973, pp. 46~59.
 16. 尹龍男, "위치에너지 개념에 의한 水系の 河川形態的 特性分析", 大韓土木學會誌, 제 21 권 2 호, 1973, pp. 95~105.