

Spectral 解析에 의한 漢江水系의 蛇行分析

Spectral Analysis of Meanders in the Han River System

宋	在	偶*
Song,	Jai	Woo
金	珍	鎬**
Kim,	Jin	Ho

Abstract

Meander characteristics of the Han River System using autocorrelation coefficient and variance spectrum were analysed, and meander paths were simulated by direction and direction-change series in this paper.

Better wavelength estimates are obtained from direction-change spectra, dominant wavelength had the increasing tendency in order tributaries of the North Han River System, the South Han River System and the Han River Downstream System.

The meander characteristics of tributaries in the North Han River, the South Han River and the Han River Downstream System could be obtained from the results of direction and direction change spectra.

Direction and direction-change autocorrelograms are generally of damped oscillatory form, and wavelengths estimated from direction-change autocorrelograms correlate closely with wavelength estimated from direction-change spectra.

要 旨

本 研究에서는 流路의 方向角과 方向偏角의 資料를 가지고, 自己相關係數와 variance spectrum 을 利用하여 漢江流域 河川들에 대한 蛇行特性을 分析하였다.

蛇行波長 算定에는 方向角 spectra 보다는 方向偏角 spectra 의 利用이 더 좋음을 알 수 있었으며, 方向偏角 spectra 로부터 算定된 支配蛇行波長은 北漢江水系, 南漢江水系, 漢江下流水系 河川들 順으로 漸次 크게 나타나는 傾向을 보였다.

또한, 流路의 方向角 및 方向偏角의 spectra 로부터 北漢江水系, 南漢江水系, 漢江下流水系 河川들의 蛇行性向을 알 수 있었다.

方向角 및 方向偏角에 대한 autocorrelogram 들은 一般的으로 振動하면서 減衰하는 모양을 보였으며, 方向偏角의 資料를 가지고 自己相關係數와 spectra 로 구한 蛇行波長間에는 相關성이 높은 線形關係를 보였다.

* 正會員·弘益大學校 工科學 副教授, 土木工學科

** 弘益大學校 大學院

1. 序 論

河川流路의 形態學의 特性으로서 가장 代表的인 것은 河川의 蛇行性向이라 할 수 있다. 蛇行은 大部分의 自然河川에서 찾아볼 수 있으며 이러한 蛇行의 生成原因 및 發達에는 여러가지 學說이 있으나 河川蛇行의 成因에 關한 定說은 確立되지 않고 있으며, 여러가지 要因들이 複合的으로 作用하거나 또는 特히 優勢한 要因에 依해 支配될 것으로 推測되고 있다.

自然河川에 있어서의 蛇行現象은 洪水時 河道의 安定性에 對한 問題뿐만 아니라 流深의 變化, 航路 水深의 維持困難, 取水口의 機能低下 및 維持困難, 堤防의 破壞等과 같은 水工 構造物의 局所 洗掘에 따른 河川災害의 諸問題와 密接한 關係가 있다. 그러므로 河川의 維持 및 災害防止의 觀點에서 볼 때 河川의 蛇行問題는 대단히 重要한 것이다.

河川의 蛇行에 關한 研究는 Davis⁽²⁾ 以後 Friedkin⁽⁵⁾의 大規模 蛇行實驗, Inglis⁽⁶⁾의 蛇行波長 概念導入, Dury⁽³⁾ 등의 計量形態學의 研究로 이어져 왔으며 Speight^(11,12), Ferguson⁽⁴⁾ 등은 spectrum 解析을 通하여 蛇行을 分析하였고 Chang⁽¹⁾, Parker⁽⁹⁾ 등이 蛇行 彎曲部에 對한 關係式을 發表하였다.

國內에서는 宋^(17,18), 安⁽¹⁹⁾, 尹⁽²⁰⁾ 등의 研究結果가 發表되었으나 아직 蛇行 關聯分野의 研究는 未洽한 實情이다.

自然河川은 不規則한 蛇行流路가 大部分이므로 規則的인 蛇行區間에서 얻은 蛇行特性 및 關係式들을 自然河川의 特性으로 본다는 것은 多少의 無理가 있을 것이다. 그러므로 本 研究는 漢江水系의 河川들에 對해 不規則한 蛇行流路로 考慮하여 蛇行波長 概念을 導入, 分析함으로써 蛇行特性을 보다 明確히 究明하는데 그 目的이 있다.

研究對象 河川은 첫째, 漢江水系의 流路延長 20km 以上の 河川中 比較的 支流의 影響이 적고, 둘째, 댐에 依한 影響等으로 固有의 蛇行特性에 影響을 받을 것으로 判斷되는 河川을 除外시킨 總 30個의 河川이며, 이들에 對하여 圖上 調査를 行하였다.

分析을 위한 蛇行流路는 河川의 最深線으로서 이들은 圖上流路의 中心線으로 代置된 後, 方向角 및 方向偏角의 推計學的 模型으로 再構成되었다. 이로부터 얻은 方向角 및 方向偏角 系列을 自己相關係數와 variance spectrum 을 利用하여 蛇行波長을 구한 後, 이들에 對한 相關分析을 實施하였다.

2. 理論的 背景

系列은 하나의 獨立變數 t 에 對한 無作爲 函數, $X(t)$ 로 定義된다. 本 論文에서는 河川의 最深線을 獨立變數 t 로 택함으로써 線系列을 이루게 된다.

最深線에서 구해진 方向角 및 方向偏角에 依한 線系列의 境遇, 確定成分 $D(s)$ 는 週期成分만으로 構成되어 있다고 假定할 수 있다. 그러므로 確定成分 $D(s)$ 는 다음 式과 같이 Fourier 級數로 表示될 수 있다.

$$D(s) = A_0 + 2 \sum_{j=0}^{\infty} (A_j \cdot \cos 2\pi j s f + B_j \cdot \sin 2\pi j s f) \quad \dots(1)$$

그러나 實際 分析에 있어서 獲得할 수 있는 資料는 大部分 有限하기 때문에 資料數가 N 인 境遇 式(1)은 다음과 같이 有限 Fourier 級數 展開式으로 쓸 수 있다.

$$X(S) = A_0 + 2 \sum_{j=1}^h \left(A_j \cos \frac{2\pi j}{N} S + B_j \sin \frac{2\pi j}{N} S \right) + A_N \cos \frac{2\pi N}{N} S + e(S) \quad \dots(2)$$

N 이 奇數인 境遇 $A_N=0$ 이며, $h=(N-1)/2$ 이고, N 이 偶數인 境遇 $h=N/2$ 이다. Fourier 級數의 係數 A_j, B_j 는 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} A_j &= \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N X_s \cos \frac{2\pi j}{N} S \\ B_j &= \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N X_s \sin \frac{2\pi j}{N} S \end{aligned} \right\} \quad \dots(3)$$

$j=0, 1, 2, 3, \dots, N$

2.1 自己相關函數(Autocorrelation function)

連續形 資料의 境遇, 自己共分散函數(autocovariance function)는 다음과 같다^(13,7).

$$C(\tau) = \lim_{S \rightarrow \infty} \frac{1}{S} \int_{-S/2}^{S/2} [X(S) - \mu] [X(S+\tau) - \mu] ds \quad \dots(4)$$

여기서 μ 는 다음 식과 같다.

$$\mu = \lim_{S \rightarrow \infty} \frac{1}{S} \int_{-S/2}^{S/2} X(S) ds \quad \dots(5)$$

또한 자기상관함수는 다음과 같이 정의된다.

$$\rho(\tau) = C(\tau)/C(0) \quad \dots(6)$$

離散形 資料의 境遇式 (5)는 다음과 같이 推定值로서 使用될 수 있다.

$$C_k = \frac{1}{N-k} \sum_{S=1}^{N-k} (X_S - \bar{X})(X_{S+k} - \bar{X}) \dots(7)$$

그러므로 式(6)과 式(7)로부터 離散形 資料의 自己相關係數 r_k 를 구할 수 있다.

$$r_k = \frac{N \sum_{S=1}^{N-k} (X_S - \bar{X})(X_{S+k} - \bar{X})}{(N-k) \sum_{S=1}^N (X_S - \bar{X})^2} \quad \dots(8)$$

2.2 Variance Spectrum

線系列에 대한 分析에서 variance spectrum은 0에서 0.5까지의 임의의 頻度에 대해서 週期成分을 觀察할 수 있다. 이러한 利點으로 해서 variance spectrum 分析은 時系列 또는 線系列의 特性分析에 效率的으로 利用되고 있다.

임의의 頻度 f 에 대한 母集團의 variance spectrum $S^*(f)$ 는 線系列의 自己共分散函數 $C(\tau)$ 로부터 구할 수 있다. $S^*(f)$ 와 $C(\tau)$ 는 다음 式과 같은 Fourier 變換의 雙으로 表示된다(14).

$$S^*(f) = \int_{-\infty}^{\infty} C(\tau) e^{-i2\pi f \tau} d\tau \quad \dots(9)$$

$$C(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S^*(f) e^{-i2\pi f \tau} df \quad \dots(10)$$

資料數가 N 인 離散形 線系列의 variance spectrum은 다음 式으로 表示되는 $\hat{S}^*(f)$ 값으로 推定된다(7).

$$\hat{S}^*(f) = 2[C_0 + 2 \sum_{k=1}^m C_k \cos 2\pi f k] \quad \dots(11)$$

式 (11)을 頻度領域(frequency domain)에서 空間領域(space domain)으로 바꾸어 놓으면,

$$\hat{S}_k' = \frac{p}{m} (C_0 + 2 \sum_{i=1}^{m-1} C_i \cos \frac{\pi i k}{m} + C_m \cos \pi k) \quad \dots(12)$$

이 되며, 이 式에서 $k=0, 1, 2, 3, \dots, m$ 이고, p

값은 k 가 0과 m 인 境遇에 0.5이고 그외의 境遇에는 모두 1이다.

遲滯 k 와 f_k 의 關係式은 다음과 같다.

$$f_k = \frac{k}{2m \cdot \Delta S} \quad \dots(13)$$

式 (13)은 variance spectrum을 頻度 f_k 의 函數로 表示할 때 利用되며, ΔS 는 離散形 線系列의 等間隔(equivalent sample interval)이다.

式(12)로 구한 spectral 推定值는 白色雜音(white noise)이 심하므로 variance spectrum \hat{S}_k' 를 平滑하게 하기 위하여 Blackman-Tukey가 提案한 Hanning의 平滑法을 使用하면 다음과 같이 平滑化된 variance spectrum \hat{S}_k 를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{S}_0 &= 0.5(\hat{S}_0' + \hat{S}_1') \\ \hat{S}_k &= 0.25\hat{S}_{k-1}' + 0.5\hat{S}_k' + 0.25\hat{S}_{k+1}' \quad \dots(14) \\ \hat{S}_m &= 0.5(\hat{S}_{m-1}' + \hat{S}_m') \end{aligned}$$

variance spectrum을 利用하여 線系列의 代表週期를 찾는 것은 다음과 같은 variance spectrum의 特性 때문에 可能하다. 즉, $\tau=0$ 인 境遇式 (4)로부터 $C(0)=\sigma^2$ 이므로 式 (10)으로부터 다음의 關係가 成立한다.

$$C(0) = \int_{-\infty}^{\infty} S^*(f) df \quad \dots(15)$$

따라서 variance spectrum의 全 頻度에 걸친 積分量은 線系列의 分散 σ^2 과 一致한다. 그러므로 特定頻度 f_k 에 대한 variance spectrum $S^*(f_k)$ 를 구하여 이를 全 線系列의 分散과 比較함으로써 重要頻度를 찾을 수 있으며 重要頻度로부터 代表的인 週期를 구할 수 있다.

3. 蛇行流路의 定量化 및 資料의 取得

3.1 蛇行流路의 定量化

蛇行流路의 定量的인 研究에서 蛇行流路는 河川의 最深線으로 單純化시킬 수 있으며, 河川의 最深線은 1:50,000의 地形圖上에서 河川의 中心線으로 代置될 수 있다. 自然流路의 進行은 推計學的 過程으로 볼 수 있기 때문에 方向角 ϕ_i 및 方向偏角 $\Delta\phi_i$ 의 離散系列 $\{\phi\}$ 와 $\{\Delta\phi\}$ 로서 나타낼 수 있다.

ϕ_i 및 $\Delta\phi_i$ 는 그림 1에 보인 바와 같이 河川의 最深線을 따라 測定한 流路延長 S 를 一定한 區間으로 細分시킨 ΔS 에 依해 구해진다.

本 研究에서는 ϕ_i 및 $\Delta\phi_i$ 의 負號를 時計方向 ‘+’, 反時計方向 ‘-’로 定하여 河川의 下流方向으로 進行하면서 測定하였다. 그러므로 ϕ_i 및 $\Delta\phi_i$ 는 $-180^\circ \leq \phi_i$, $\Delta\phi_i \leq 180^\circ$ 의 값을 갖는다.

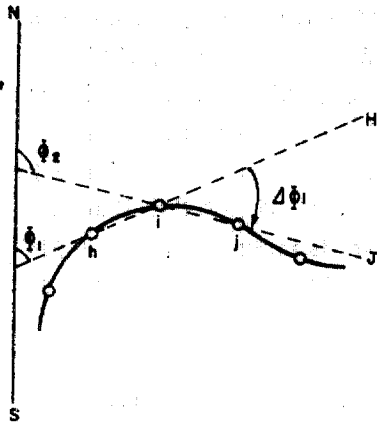


그림 1. Definition of the Direction and Direction Change Angle

結果적으로 ϕ_i , $\Delta\phi_i$ 로 構成된 離散系列 $\{\phi_i\}$ 와 $\{\Delta\phi_i\}$ 는 ± 180 의 範圍를 取하게 되며, 河川 蛇行流路를 나타내는 線系列이 된다.

3.2 資料의 取得

方向角 ϕ_i 와 方向偏角 $\Delta\phi_i$ 는 漢江 全流域을 包括하는 地形圖로부터 獲得되었다.

本 研究에서 漢江水系는 南漢江과 北漢江의 分流點인 팔당을 中心으로 크게 南漢江水系, 北漢江水系, 漢江下流水系 等으로 3分化하여 南漢江水系 15個 河川, 北漢江水系 8個 河川, 漢江下流水系 7個 河川을 對象으로 方向角 및 方向偏角을 下流方向으로 進行하면서 測定하였으며, ΔS 는 길이에 따라 spectrum의 變化가 예상되나, 洪水時 彎曲部堤防유실이 單곡부 頂點에서 河幅의 1~2倍 下流에 집중되므로 (19) 圖上 0.5 cm 와 1 cm 中 河幅의 3倍를 基準으로 取하였다.

4. 分析 및 考察

4.1 自己相關係數에 의한 分析

그림 2는 南漢江水系의 代表的인 支川이라 할 수 있는 달천에서의 方向角과 方向偏角에 대한 correlogram을 例示한 것이다. correlogram에 나타난 바와 같이 自己相關係數 r_k 는 單純週期를 갖는다기보다는 多數週期の 疊으로 表現되고 있음을 쉽게 알 수 있다.

漢江流域內 對象河川들의 方向角 ϕ_i 및 方向偏角 $\Delta\phi_i$ correlogram으로부터 다음과 같은 結果를 얻었다. $\Delta\phi_i$ 에 比하여 r_k 가 遲滯길이 k 의 增加에 따라 初期에 急激히 減少하는 樣相이며 좀 더 銳敏한 모양을 가진다. 또한 $\Delta\phi_i$ 의 cor-

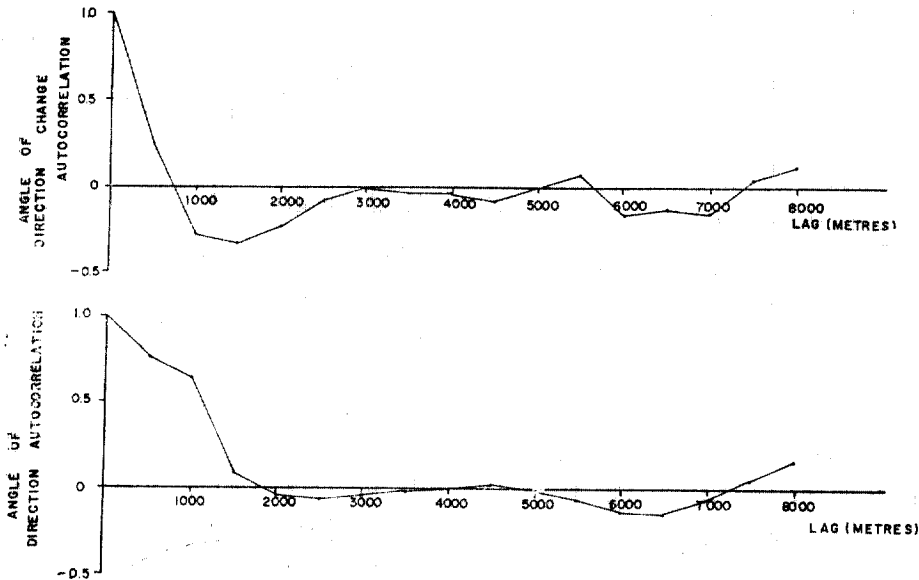


그림 2. Correlogram (Dal Chôn)

relogram 이 振動性을 더욱 많이 나타냄과 同時에 대부분이 곧바로 最小값을 갖는 傾向을 觀察할 수 있었다. 이러한 結果로부터 方向偏角系列 $\{\Delta\theta\}$ 이 方向角系列 $\{\theta\}$ 보다 系列 相互間의 相關性이 더 좋으며, $\{\Delta\theta\}$ 가 蛇行流路의 下流方向으로 $\{\theta\}$ 보다 持續性의 정도가 良好하다는 事實을 判斷할 수 있다. 그러므로 漢江 蛇行流路

의 correlogram 에 依한 特性分析에는 方向偏角系列 $\{\Delta\theta\}$ 의 利用이 有利하다고 생각된다.

Ferguson 은 自己相關係數에 依해 算定될 수 있는 代表的인 蛇行波長 λ_0 를 方向偏角 correlogram 의 첫번째 頂點까지의 遲滯값으로 定義했으나 그림 3에 보인 바와 같이 이 값은 0의 값에 接近되는 境遇가 頻繁하기 때문에 correlog-

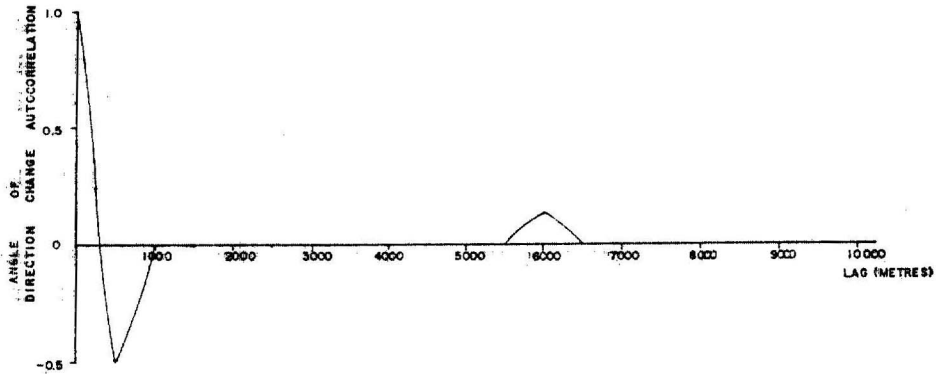


그림 3. Pyongchang River Correlogram (Approach to Zero)

ram 으로부터 頂點을 찾는다는 것은 매우 어려운 作業이며 信頼度 또한 疑心스럽게 된다. 그리하여 λ_0 를 近似값으로서 方向偏角 correlogram 의 첫번째 最小값에 대한 遲滯의 2倍로 算定했으며, 각 水系에서 구한 λ_0 는 北漢江水系, 南漢江水系, 漢江下流水系 順으로 漸次 增大되는 傾向을 얻었다.

4.2 Variance Spectrum 에 의한 分析

式 (14)에 依해 平滑化된 variance spectrum 推定值 $S(f_k)$ 는 線系列이 가지고 있는 週期函數들의 相對的인 比較로서 重要 週期를 찾는 데 利用될 수 있다. 그렇기 때문에 variance spectrum 推定值 $S(f_k)$ 自體보다는 任意의 次元을 갖는 蛇行強度 $X(p)$ 로 定義됨이 더 意味가 있다고 하겠다.

蛇行波長은 그림 4에서 橫軸으로부터 計算될 수 있으며, variance spectrum 의 最高 頂點 즉, 最大蛇行強度를 갖는 頻度로 求해진 波長을 支配蛇行波長(dominant meander wavelength), λ_0 로 定義한다. 表 1은 方向角에 依해 計算된 對象河川들의 支配蛇行波長을 나타낸다. 表 1에 나타낸 바와 같이 本 研究에 있어서 方向角系列

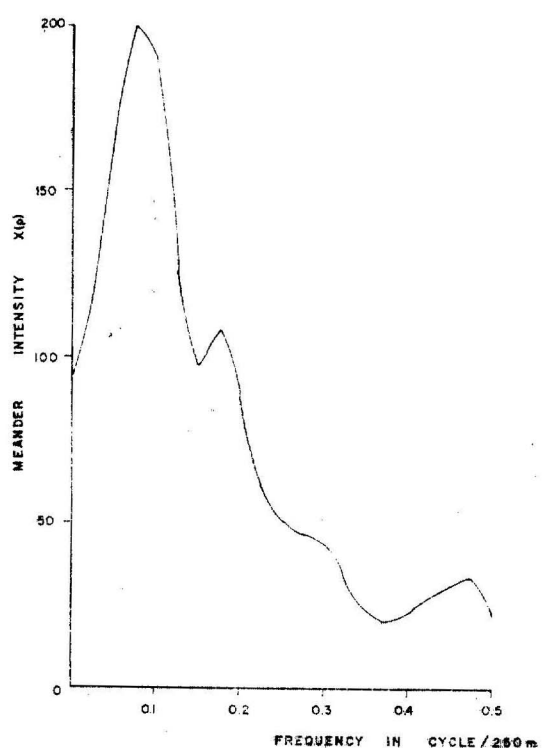


그림 4. Direction Variance Spectrum (Song Chon)

표 1. 방향각계열 { θ }에 의한 한강수계 하천들의 지배사행과정

구분	하천명	고려된 하천연장 (km)	$\Delta S(m)$	과장(m)
남한강수계	주천강	79.80	500	∞
	평창강	101.50	500	3,000
	옥동천	39.92	250	1,500
	오대천	37.58	250	3,000
	송천	51.07	250	3,333
	남한강	221.25	500	20,000
	골지천	49.05	250	3,000
	섬강	58.67	500	10,000
	달천	81.44	500	6,000
	등대천	16.33	250	1,500
	부하천	19.64	250	∞
	청미천	27.50	250	∞
계천강	21.00	250	∞	
동강	99.35	250	2,875	
동남천	28.12	250	1,667	
북한강수계	홍천강	125.33	500	3,000
	내린천	72.50	250	∞
	가평천	16.72	250	2,750
	금강천	40.25	250	2,500
	금성천	37.00	250	4,750
	수입천	22.50	250	1,000
	조종천	31.84	250	1,500
	인북천	55.23	250	2,750
한강하류수계	본류	82.00	500	∞
	경안천	39.50	250	7,500
	안양천	23.15	250	1,500
	곡룡천	39.98	250	8,000
	왕숙천	22.03	250	∞
	숫내	24.15	250	∞
	증량천	26.45	250	∞

{ θ }에 의한支配蛇行波長은 종종無限大로 나타남으로 잘定義되지 않고 있음을 볼 수 있다.

漢江流域 對象河川들의 { θ }와 { $\Delta\theta$ }에 의한 variance spectrum을 살펴본 바에依하면 첫째, { $\Delta\theta$ }에 의한 variance spectrum의 모양은 { θ }보다相對的으로 많은頂點을 보여 줌으로, 이는線系列에內在된週期成分들이方向偏角 $\Delta\theta$; spectra에서 더 잘表現되고 있음을示唆하며, 둘째支配蛇行波長은 { $\Delta\theta$ }가 { θ }보다 더 잘定義되고, 셋째一般的으로 { $\Delta\theta$ }에 의한支配蛇行波長이 짧게 나타나는傾向을 볼 수 있

었다. 그러므로支配蛇行波長의算定에는 { θ }보다는 { $\Delta\theta$ }의使用이妥當하다고 생각되며, 本研究에서는 { $\Delta\theta$ }를利用하여支配蛇行波長 λ ,를 구하였다. 支配蛇行波長 λ 는 λ_1 와 마찬가지로北漢江水系, 南漢江水系, 漢江下流水系順으로漸次크게 나타났다.

그림 5, 그림 6, 그림 7은 南漢江, 가평천, 곡룡천의 { θ }와 { $\Delta\theta$ }에 의한 variance spectrum을圖示한 것이다. 그림 5와 그림 7의境遇, 代表的인 두개의頂點을 나타내는 것은“한流路內에는 두개의特成波長(characteristic wavelength)이存在한다”라는 Hjulstrom과 Schumm의提案과一致함을 보여준다.

Chang and Toebes⁽²⁾는 印度河川의 研究에서方向角 spectrum 分析方法을使用하여, “河川의下流域은幅이 좁은低周波 spectral 頂點을 가지며, 上流側은不明確한 spectral 頂點과 함께高周波 領域이 대단히 크게 나타난다”고 밝힌 바 있다. 本研究에 있어서, 北漢江水系의 河川들에對한 variance spectrum은 그림 6에 나타낸 것과 같이高周波 領域의蛇行強度가 매우強하게 나타남과同時에明確하지 않은 spectral 頂點을 보였다. 이것은 Chang and Toebes⁽²⁾의 結果에 比較해 볼 때 北漢江水系 河川들은 上流側의 特性을 나타낸다. 高周波 領域의蛇行強度가 強하게 나타난다는 것은 北漢江水系의 河川들이 主로 짧은 波長으로 이루어졌다는 것을意味한다. 다시 말하면, 解析에 利用된 資料들이 流路의 局所 方向角 및 方向偏角으로構成되었기 때문에 流路方向이 매우頻繁하게變化한다는意味이기도 하다. 만일 河川이 沖積地帶를 通過한다면 河川은 自由蛇行을 하게 되며, 流路方向의 變化도 매우頻繁하게 되므로 spectral 頂點은 大體로 高周波 領域에 存在하게 될 것이다⁽¹¹⁾. 그러나 北漢江 流域은 圖上觀察에依하면 山間區域임을 쉽게 알 수 있으며, 그럼에도 불구하고 이 地域 河川들의 最大 spectral 頂點은 高周波 領域에 나타나는데, 이것은 이 地域의 河川들이 急한 水路傾斜에 依한 流路方向의 變化可能性과 함께 地形的인 要因으로 拘束蛇行을 하기 때문인 것으로 判斷된다. 漢江下流水系의 河川들에 대한 variance spectrum은

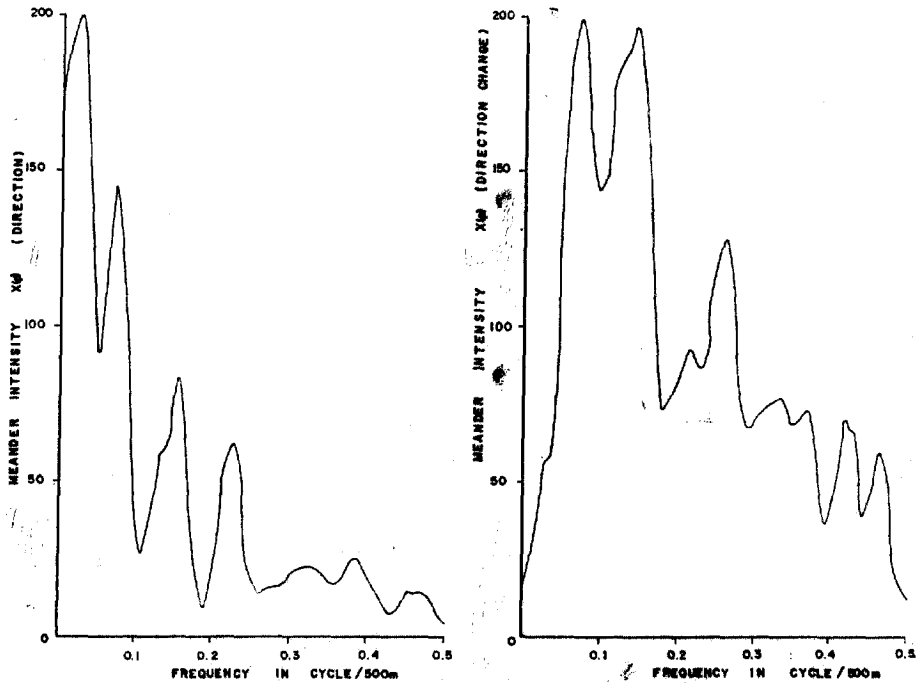


그림 5. Variance Spectrum (South Han River)

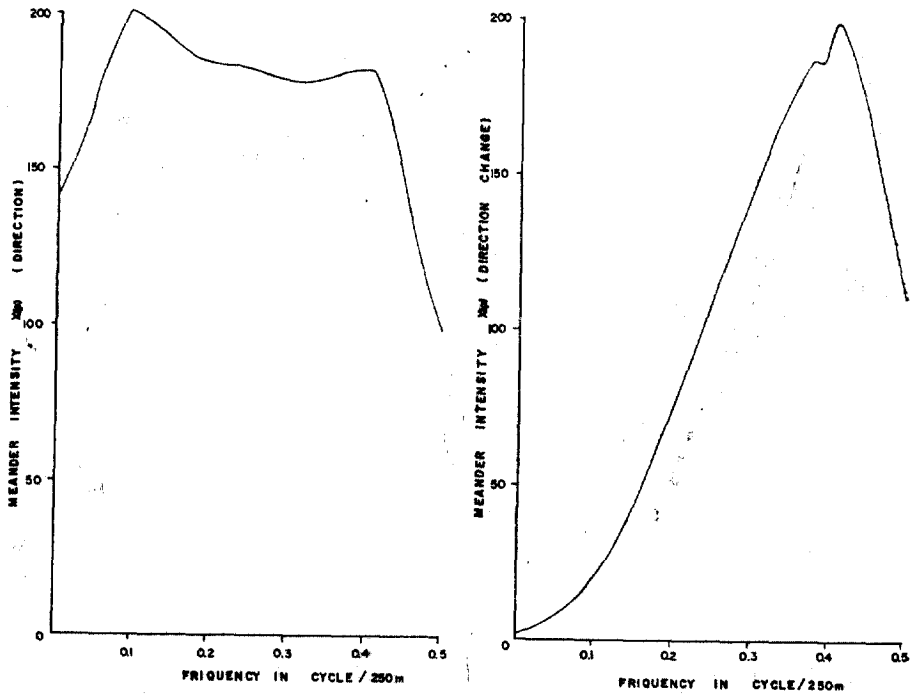


그림 6. Variance Spectrum (Kapyŏng Chŏn)

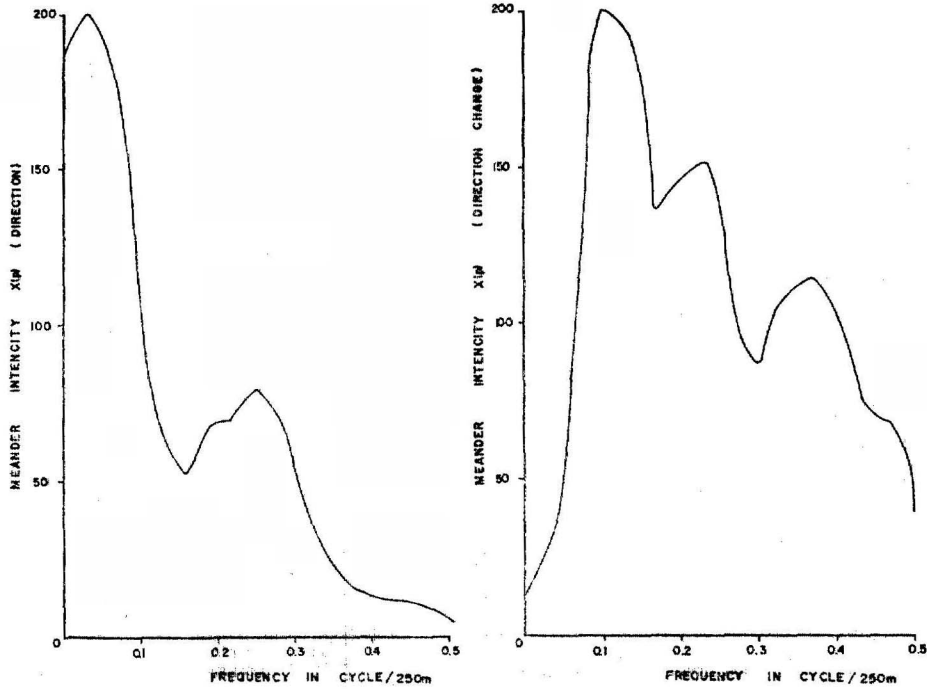


그림 7. Variance Spectrum (Korung Chon)

그림 7에 보인 것과 같이 最大 蛇行強度가 主로 低周波 領域에 位置하는 것으로 보아 長波長의 蛇行이 卓越함을 알 수 있다. 이것은 Chang and Toebes⁽²⁾의 結果에 比較해 볼 때 河川의 下流側 特性을 보여준다. 이 流域은 比較的 浸蝕이 容易한 平野地帶로서 流路의 方向變化가 頻繁하게 發生될 수 있으므로 多數의 spectral 頂點이 期待되었으나 大部分 緩慢한 2個의 頂點을 보였다. 이같은 理由는 漢江下流水系의 大多數 河川들이 河川改修 및 整備가 이루어져 堤防의 狀態가 比較的 良好한 데서 起因한 것으로, 堤防에 依해 작은 流路方向의 變化가 抑制된 原因으로 생각된다. 그림 5에 나타난 것처럼 南漢江水系 河川들의 variance spectrum은 여러 頻度들이 重複된 複雜한 形態의 spectral 頂點을 보이는데, 이를 Chang and Toebes⁽¹²⁾의 結果와 比較해 볼 때 上下流의 過渡地域으로 볼 수 있다.

이러한 事實을 綜合해 보면, 漢江水系 河川들은 相對的으로 北漢江水系, 南漢江水系, 漢江下流水系 順으로 漸次 蛇行波長이 增大되고 安定

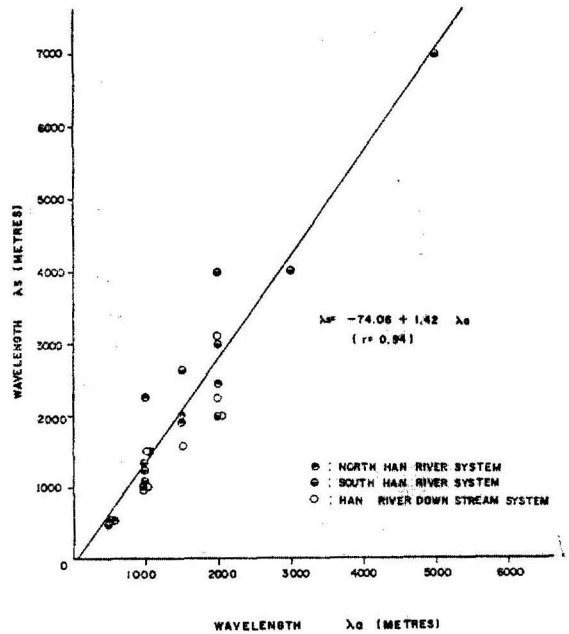


그림 8. Relationship between Wavelength λ_1 , λ_2 from Diraction Change Spectra and Correlograms.

성이 증가함을 알 수 있다.

4.3 λ_a 와 λ_s 의關係

自己相關係數에 의한 河川의 代表的인 蛇行波長 λ_a 와 variance spectrum에 의한 支配蛇行波長 λ_s 는 漢江流域의 境遇 그림 8에 圖示해 본 結果, 通常 λ_s 가 λ_a 보다 크게 나타나며 強한 線形關係를 가짐을 알 수 있다.

各流域別 λ_s 와 λ_a 의 關係式은 다음과 같다.
北漢江水系

$$\lambda_s = 133.20 + 1.34\lambda_a \quad (r=0.65)$$

南漢江水系

$$\lambda_s = -51.77 + 1.44\lambda_a \quad (r=0.96)$$

漢江下流水系

$$\lambda_s = -344 + 1.45\lambda_a \quad (r=0.87)$$

5. 結 論

漢江水系의 蛇行特性을 究明하기 위해 自己相關係數와 variance spectrum에 의한 蛇行波長을 中心으로 分析한 結果는 다음과 같다.

1. 方向角 및 方向偏角系列 $\{\phi\}$ 와 $\{4\phi\}$ 는 複合週期를 가졌으며, $\{4\phi\}$ 는 流路의 下流方向으로 持續성이 良好했다.

2. 漢江水系 河川들은 大部分 2個 以上の spectral 頂點을 보임으로서, 各 河川들에는 2個 以上の 特性波長이 存在했다.

3. 漢江水系 河川들의 variance spectrum은 北漢江水系의 境遇 高周波 部分, 漢江下流水系의 境遇 低周波 部分이 強하게 나타났으며, 南漢江水系의 境遇는 여러 周波數들이 重複된 複雜한 形態로 나타났다. 이로부터 北漢江水系, 南漢江水系, 漢江下流水系 順으로 漸次 蛇行波長이 增大되고 安定성이 增加함을 알 수 있었다.

4. λ_a 와 λ_s 는 大部分 $\lambda_s > \lambda_a$ 의 樣相이고, 兩蛇行波長間에는 相關성이 높은 線形關係를 나타냈으며, λ_a 는 北漢江水系, 南漢江水系, 漢江下流水系 順으로 漸次 增大되었다. 이로부터 λ_a 는 漢江水系 河川들의 蛇行性向 分析에 λ_s 의 代替波長으로 使用될 수 있다.

參 考 文 獻

1. Chang H.H., "Plan geometry of river mean-

ders", *Frontiers in Hydraulic Engineering*, Hydraulics Division of American Society of Civil Engineers, 1983, pp.133~140.

2. Chang, T.P. and Toebes, G.H., "A statistical Comparison of meanders planforms in the Wabash Basin", *Water Resources Research*, 6, 1970, pp.557~578.

3. Davis, W.M., *The Geographical Cycle*, George J., 14, 1899, pp.481~504.

4. Dury, G.H., "Relationship of Morphometry to Run-off Frequency.", *Water, Earth and Man*, Methuem, London, 1969, pp.419~430.

5. Ferguson, R.I., Meander Irregularity and Wavelength Estimation, *J. Hydrol.* 226, 1975, pp. 315~333.

6. Friedkin, J.F., *A laboratory study of the Meandering of Alluvial Rivers*, U.S. Waterway Experiment Station, Vicksburg, Miss., 1945.

7. Inglis, C.C., "Meanders and Their Bearing on River Training", *Maritime Waterways* pap. 7, The institution of Civil Engineers, 1947, pp.1~23.

8. Jenkins, G.M. and Watts, D.G., *Spectral Analysis and Its Applications*, Holden-Day, San Francisco, Calif., 1968, pp.525.

9. Kottegoda, N.T., *Stochastic Water Resources Technology*, Mcmillan Press L.T.D., London, 1980, pp.1~66.

10. Parker, G., Diplas, P. and Akiyama, J., "Meander Bends of High Amplitude", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 109, No. 10, 1983, pp.1323~1337.

11. Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, V., and Lane, W.L., *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*, Water Resources Publications, Colorado, 1980. pp.1~103.

12. Speight, J.G., "Meander Spectra of the Angabunga River", *Journal of Hydrology*, Vol. 3, 1965, pp.1~15.

13. Speight, J.G., "Spectral Analysis of Meanders of Some Australasian Rivers", *Land from Studies from Australia and New Guinea*, University Press, Cambridge, 1967, pp.48~63.

14. Yevjevich, V., *Stochastic Process in Hydrology*, Water Resources Publications, Fort Collins,

Colorado, 1972, pp.276.

15. 日野幹雄, “スペクトル解析”, 朝倉書店, 東京, 1982, pp.300.
16. 姜瑄沅 外 3 人, “漢江水系の 蛇行에 關한 研究”, 韓國水文學會誌, 第 28 卷 1 號, 1985, pp.57~65.
17. 高在雄, “彎曲流路에서의 河床變動에 關한 研究”, 韓國水文學會誌, 第 8 卷 2 號, 1975, pp.75~80.
18. 宋在偶, “河川水系の 水理幾何學的 特性에 關한 研究”, 韓國水文學會誌, 第 13 卷 2 號, 1980, pp.49~54.
19. 宋在偶 外 1 人, “河川蛇行의 計量形態學的 特性”, 韓國水文學會誌, 第 14 卷 1 號, 1981.
20. 安相緝 外 3 人, “錦江水系の 蛇行에 關한 研究”, 韓國水文學會誌, 第 15 卷 1 號, 1982, pp.33~42.
21. 尹龍男, “위치 에너지 概念에 依한 水系の 河川形態學的 特性分析”, 大韓土木學會誌, 第 21 卷 6 號, 1973, pp.85~105.

(接受: 1988. 2. 4)