

位置에너지 概念에 依한 水系의 河川縱斷推定

An Estimation of River bed Profile of the Stream System based on the Potential Energy Concept

安 相 鎭* · 姜 琯 沅** · 金 昌 洙***
Sang Jin Ahn, Kwan Won Kang, Chang Su Kim

Summary

The stream morphological characteristics of a basin have important influence upon the analysis of runoff.

In this study, the laws of stream morphology-the law of average stream fall and the law of least rate of potential energy expenditure-which were derived based on the analogy of entropy in thermodynamics are introduced and their validity is analysed with the data taken from the topographic maps covering the whole Geum River system.

The first law is the Law of Average Stream Fall which states that under the dynamic equilibrium condition the ratio of average fall between any two different order stream in the same river basin in unity.

The second law is the law of least rate of energy expenditure which states that all natural streams are intended to choose their own course of flow such that the rate of potential energy loss per unit mass of water this course is a minimum.

The parameters representing the morphological characteristics of 13 tributaries in the Geum River system such as stream bifurcation ratio and stream concavity were Computed from the Horton-Strahler's laws and are used to check the law of average stream fall.

The result showed that the law of average stream fall agrees reasonably well with law of Horton-Strahler.

Concavity of a river basin is shown to be the determinative factor to the formation of a stream system.

Based on Horton's Law and the law of average stream fall, longitudinal stream profiles can be calculated.

I. 序 論

水文學에서 基本要素가 되는 降水는 地上에 떨어

져 地形에 따라 여러가지로 流出過程을 形成하게 되며 流出이 進行되는 流域은 河川網으로 形成되는 여러가지 形態의 水系를 가지며 分水系에 依해 水系가 形成되어 크고 작은 流域이 만들어지게 된다.

* 忠北大學校 工科大學
** 仁荷大學校 工科大學
*** 尙州工業高等學校

流域의 流出現象에 影響을 미치는 因子¹²⁾는 流域의 氣候와 地質構造에 依해서 左右된다.

그러므로 流出現象에 影響을 주는 要素는 氣候學의 因子와 地相學의 因子로 大別하며 氣候學의 因子는 여러 形態의 降水, 溫度, 濕度, 바람, 蒸發 및 蒸散等을 들 수 있으며, 通常 季節的인 影響에 많은 支配를 받게 된다.

또한 地相學의 因子는 流域特性因子와 流路特性因子等으로 區別할 수 있으나 一般的으로 流域因子는 地質構造와 地表狀況等으로 左右되며 通常 流路特性은 流域特性에 包含된다.

流域의 河川 形態學에 關한 研究는 Horton²³⁾이 次數概念을 量的으로 表現하는 方法과 河川網이 가지는 複雜性때문에 그 特性을 統計學的으로 研究하였으며, 1945년에는 河川水系를 河川次數, 河川의 分岐率, 河川의 延長比, 河川의 陷沒度 等을 量的으로 表示하여 河川數의 法則, 河川平均延長의 法則, 河川傾斜의 法則을 發表하였다.

河川形態學에 對한 理論的인 基礎研究는 Leopold와 Langbein⁶⁾에 依해 처음으로 發表된 Entropy概念에서 비롯된다.

Yang⁸⁾은 Leopold와 Langbein의 Entropy概念을 延長하여 河川의 各種 形態學의 特性을 支配하는 物理法則에 對한 數學的 模型을 假定하였다.

Yang의 法則에 依하면 降水現象에 依해 地表面에 떨어진 單位質量의 물이 가지는 唯一한 Energy는 位置 Energy이며, 이 位置 Energy가 河川을 따라서 어떻게 消耗되며 分布되는가 따라 河川의 形狀 및 河川網의 構造가 決定된다는 것이다. 이것을 究明한것이 Yang의 法則이다. 河川縱斷에 對한 理論은 Hack¹⁾과 Leopold⁵⁾ 및 Langbein 等に 依하여 研究發表되었다.

Yang은 Horton의 河川平均延長의 法則과 河川平均傾斜의 法則에 依하여 水系에 對한 河川理論縱斷을 發表하였고, Stall과 Yang⁷⁾은 河川理論縱斷과 河川平衡縱斷을 計算하였으며, Horton-Strahler의 河川次數概念은 河川水路의 水理學的 特性이 空間的으로 어떤 形態로 變하는가를 說明하였다.

한편 우리나라의 河川形態學에 對한 研究는 建設部⁹⁾에서 1967년부터 四大江 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 形態學的 特性分析을 위한 基礎資料를 調查한 바 있으며, “漢江水系의 河川形態學的 特性과 頻度流量과의 相關性”이란 論文에서 漢江水系에 對한 利水計劃樹

立에 必要한 資料를 提供하였다.¹³⁾¹⁴⁾

“小河川水系의 流域特性에 關한 研究”¹⁰⁾와 “流域의 河川形態學的 特性因子와 流出 및 水理 幾何間的 相關性”¹¹⁾이란 論文에서 Horton-Strahler의 河川法則에 依해 錦江水系도 適用 可能함을 證明하였다.

本 研究에서는 錦江水系의 13個支流를 擇하여 各種 形態學的 特性을 量的으로 表示하고 人工水路等을 包含하는 1次河川을 除外한 2次河川 以上에 對해서 이들 形態學的 特性들의 變化를 밝힘으로서 流域의 特性을 正確히 把握할 수 있어, 錦江 水系의 13個支流의 長期的 河床變化를 形態學的 特性으로 分析할 수 있는 基礎를 마련하였으며, Horton-Strahler의 方法에 依하여 河川次數에 對한 河川數, 回歸常數 및 各種 媒介變數를 決定하였다. 河川의 平均延長比, 陷沒比 및 落下高比等으로부터 河川理論縱斷 및 河川平衡縱斷을 求하여 實測縱斷과를 比較 檢討하는데 目的을 두었다. Fig. 1은 錦江 流域圖로서 選擇된 13個支流를 表示하고 있다.

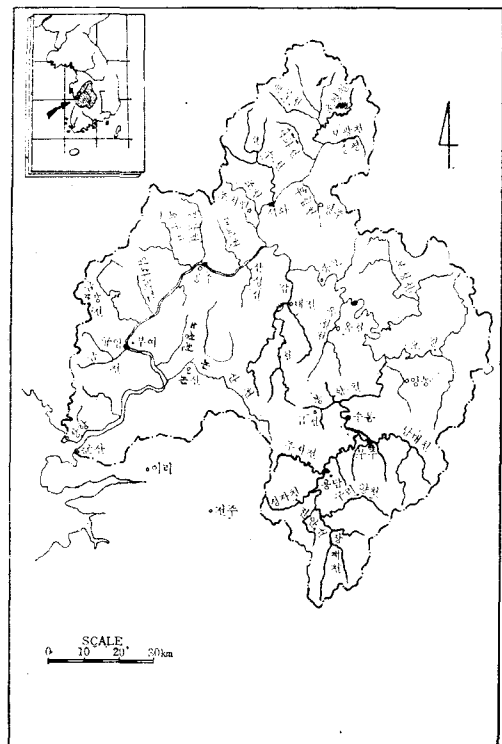


Fig. 1. Map of Geum River System and Selected tributary of Geum River

II. 河川網의 特性理論

1. 平均河川落下高의 法則

河川次數概念은 Horton에 의하여 처음으로 提案되었으나, 그 후 Strahler等에 의하여 修正되었고 Horton의 研究를 修正發表한것이 Horton-Strahler의 方法으로 불리운다.

一般的으로 河川次數를 表示하는 方法은 各 水源點으로부터 始作하여 下流方向으로 河川次數를 決定하는 方法인 美國式 System을 本 研究에서는 擇하였다.

Strahler의 河川次數概念에 依하면 1次 河川은 어떤 縱尺의 地形圖에서나 支流를 가지지 않는 溪流를 말한다. 2個의 1次 河川이 合流하여 2次 河川이 되고, 2個의 2次 河川이 合流하여 3次 河川이 된다.

U次 河川이 U次 河川과 만나면 (U+1)次 河川이 되나 U次 河川보다 적은 次數의 河川이 合流하면 次數에는 變함이 없다.

河川 次數가 河川 形態學의 特性에 미치는 影響은 人工水路를 包含한 1次와 1次河川을 除外한 2次 河川에서부터 얻은 水系組織變化가 더 좋은 結果를 준다¹⁶⁾고 하여 1次河川을 除外한 2次河川부터 얻은 資料를 本 研究에서는 使用하였다.

河川 始點에서부터 單位 質量의 물이 가지는 唯一한 에너지는 位置에너지이며 이 位置에너지는 下流로 내려감에 따라 運動에너지와 摩擦損失에너지로 變한다. 河川의 任意區間에 對한 運動에너지의 變化量과 摩擦損失에너지의 合은 位置에너지의 損失量과 같다. 따라서 單位質量의 물이 特定 河川網內에서 잃게되는 位置에너지의 變動 및 分布는 河川網의 形成에 대단히 큰 影響을 미친다.

지금 任意, 水系內의 U次 河川의 單位水量當 位置에너지 損失의 平均値를 hu , U次 河川의 始點으로부터 終點까지의 平均落下高를 yu 라 하면

$$H = \sum_{u=1}^n hu = \text{const} \quad (1)$$

$$Y = \sum_{u=1}^n yu = \text{const} \quad (2)$$

위 式의 H 와 Y 는 各各 1次 河川의 始點으로부터 n 次 河川의 終點까지의 單位水量當 總位置에너지 損失 및 總落下高를 表示한다.

$$hu = k \cdot yu \quad (3)$$

$$H = k \cdot Y \quad (4)$$

여기서 k ; 에너지 損失量과 落下高 사이의 變換比數 그리고 Entropy ϕ 는 熱力學에서 絕對溫度를 T , 單位水量當 熱에너지를 E 라하면 다음式으로 表示된다.

$$\phi = \int \frac{dE}{T} \quad (5)$$

한편 熱系에 있어서 熱量과 溫度는 全水系에 있어서 位置에너지의 損失量과 落下高와 비슷한 性質을 가지므로 Entropy ϕ 는 다음式으로 表示된다.

$$\phi = \int \frac{dH}{Y} = k \int \frac{dY}{Y} \quad (6)$$

그러므로 U次 河川에 對해서도 다음과 같이 表示된다.

$$\phi_u = \int \frac{dh_u}{y_u} = k \int \frac{dy_u}{y_u} \quad (7)$$

單位水量當 位置에너지의 損失量은 鉛直方向으로 均一하게 分布된다고 할때 特定量의 位置에너지가 U次 河川에서 損失될 確率은 다음式으로 表示된다.

$$p_u = \frac{hu}{H} = \frac{yu}{Y} \quad (8)$$

(8)式을 (7)式에 代入하면

$$\phi_u = k \int \frac{dp_u}{p_u} = k \ln p_u + \text{const} \quad (9)$$

또한 어떤 系의 總 Entropy는 各部分 Entropy의 和와 같으므로 Entropy ϕ 는 다음과 같이 表示된다.

$$\phi = \sum_{u=1}^n \phi_u = k \sum_{u=1}^n \ln p_u + \text{const} \quad (10)$$

Lewis와 Randall¹⁷⁾에 依하면 熱力學 第2法則으로부터 어떤 系가 動的 平衡狀態에 到達하면 그 系內의 Entropy는 最大가 되므로

$$\phi = \sum_{u=1}^n \ln p_u = \text{Maximum} \quad (11)$$

한편 確率의 定義에 依하면 p_u 는 다음과 같은 關係가 있어야 한다.

$$\sum_{u=1}^n p_u = 1 \quad (12)$$

단, $0 \leq p_u \leq 1$

따라서 (11), (12)式을 同時に 滿足하기 위해서

$$p_1 = p_2 = p_3 = \dots = p_n \quad (13)$$

$$\text{즉 } Y_1 = Y_2 = Y_3 = \dots = Y_n \quad (14)$$

(14)式은 動的 平衡狀態에 到達한 어느 水系의 U次 河川의 落下量과 U+1次 河川의 落下量은 同一하다는 것을 表示한다. 그러므로, U次 河川의 平均 落下高는 다음式으로 表示된다.

$\frac{y_u}{y_u+1} = \frac{y_u}{y_u+2} = \frac{y_u}{y_u+3} = \dots = \frac{y_u}{y_u} = 1$ (15)
 (15)式을 平均落下高의 法則(Law of average stream fall) 또는 Yang의 第一法則이라 한다.

2. Horton-Strahler의 法則과 Yang의 第一法則과의 關係

Strahler의 河川 次數概念을 利用한 Horton의 法則에 依하면 河川次數와 河川數, 各 河川의 平均延長과 平均傾斜사이에는 다음과 같은 關係가 있다.

$I_n N_u = A - B_u$ (16)

$I_n L_u = C - D_u$ (17)

$I_n S_u = E - F_u$ (18)

여기서 U ; 河川次數 N_u ; U 次 河川의 數

L_u ; U 次 河川의 平均延長

S_u ; U 次 河川의 平均傾斜流

A.B.C.D.E.F; 流域 特性에 따라 決定되는 常數式 (16), (17), (18)은 河川次數가 河川數, 各 次數 河川의 平均延長 및 河川의 平均傾斜와 指數函數 關係가 있음을 表示한다. 式 (16)을 河川數의 法則(Law of stream number), 式 (17)을 河川平均延長의 法則(Law of average stream length), 式 (18)을 河川平均傾斜의 法則(Law of average stream slope)이라고 한다. 一般의으로 河川의 分岐率(Bifurcation ratio of stream number), 河川의 延長比(Stream length ratio) 및 河川陷沒度(Stream concavity)는 河川 次數의 函數이며 이들의 回歸常數는 媒介變數로 하여 決定되며 다음式으로 表示된다.

河川 分岐率 = $\frac{Nu}{Nu+1} = e^B$ (19)

河川 延長比 = $\frac{Lu}{Lu+1} = e^D$ (20)

河川 陷沒度 = $\frac{Su}{Su+1} = e^F$ (21)

式 (20)과 式 (21)을 곱하면

$e^{D+F} = \frac{(Lu)(Yu)(Lu+1)}{(Lu+1)(Lu)(Yu+1)} = \frac{Yu}{Yu+1}$ (22)

式 (22)을 河川 落下高比(Stream fall ratio)라고 한다. 만약 水系가 動的 平衡狀態에 到達했거나 또는 이에 가까워졌을 境遇에는 Yang의 第一法則에 依하여 式 (22)는 다음과 같이 表示할 수 있다.

$D+F=0$ (23)

$e^D, e^F = \frac{Yu}{Yu+1} = 1$ (24)

式 (24)는 水系組織을 Horton-Strahler의 法則으로 記述할 수 있으며 水系가 動的 平衡狀態에 到達하게 되면 河川의 延長比와 陷沒比의 積이 1이 됨을 뜻한다.

III. 理論의 分析檢討

1. 使用資料 및 用具

錦江 流域의 形態學의 特性資料는 水系의 形態學의 特性資料인 河川次數, 河川數, 各 次數 河川의 平均延長 및 平均傾斜等은 建設部 國立地理院에서 製作한 1:50,000의 地形圖로부터 直接 測定하였다.

河川 縱斷資料인 水平距離는 地形圖에서 求長器로 測定하였으며 落下高는 等高線으로 얻었다.

한편 回歸常數 및 相關係數는 電子計算機(Computer)에 依하여 求하였다.

2. 河川 平均落下高 法則과 Horton-Strahler 法則의 相關性

式 (16), (17), (18)을 分析하기 위하여 河川次數에 對한 河川數, 河川의 平均延長 및 平均傾斜는 國立地理院에서 發行한 1:50,000地形圖를 使用하여 錦江 全水系에서 河川次數를 5次以上の 河川을 擇하였으며 그 結果 美湖川 支流에 3個 河川, 錦江 上流에 8個 河川, 下流에 2個 河川을 擇하여 分析한 結果는 Table-1과 같다.

式 (16), (17), (18)에서 回歸常數 A.B.C.D.E 및 F는 最小自乘法을 使用하여 電子計算機로 求하여

Table-1. 錦江水系의 主要支流에 對한 形態學의 特性因子 (1:50,000)

河川名	河川次數	2	3	4	5	6	7
	特性因子						
보 강 천	N	28	6	2	1		
	L	1.48	2.31	2.45	11.60		
	$S \times 10^3$	2.86	1.41	0.47	0.09		

천 수 천	N	41	8	3	1		
	L	1.73	5.98	6.57	26.50		
	S×10 ²	1.53	1.51	0.32	0.18		
미호천(분류)	N	71	21	5	1	1	
	L	1.81	3.75	4.02	30.00	39.60	
	S×10 ²	2.05	0.85	0.50	0.16	0.12	
장 계 천	N	15	6	2	1		
	L	1.02	1.83	4.20	5.50		
	S×10 ²	6.73	1.27	0.89	0.36		
남 대 천	N	45	10	3	1		
	L	2.21	4.22	11.33	26.90		
	S×10 ²	5.73	1.77	0.84	0.81		
봉 황 천	N	76	16	4	1		
	L	1.21	2.36	7.65	14.00		
	S×10 ²	5.58	2.01	0.57	0.28		
영 동 천	N	26	7	2	1		
	L	1.65	3.55	2.80	8.53		
	S×10 ²	6.65	1.40	0.36	0.23		
초 강	N	101	22	4	1		
	L	1.25	4.06	10.40	44.25		
	S×10 ²	7.30	3.10	0.77	0.31		
보 청 천	N	80	21	5	1		
	L	1.62	7.42	6.16	48.30		
	S×10 ²	4.99	1.11	0.54	0.12		
갈 천	N	134	33	9	2	1	
	L	1.46	2.87	4.04	32.00	12.20	
	S×10 ²	3.58	1.44	0.75	0.23	0.07	
금 강 상 류	N	195	39	6	1	1	i
	L	1.65	4.12	3.53	64.75	132.70	16.40
	S×10 ²	3.37	1.66	1.36	0.22	0.12	0.30
유 구 천	N	64	12	4	1		
	L	1.17	2.77	4.65	31.30		
	S×10 ²	11.79	1.72	1.63	0.25		

位置에너지 概念에 의한 水系의 河川縱斷推定

논 산 천	N	97	27	6	3	1	
	L	1.48	4.04	5.78	13.20	90.40	
	$S \times 10^2$	3.96	1.36	0.40	0.10	0.03	
금강수계 전유역	N	1,407	333	79	16	4	1
	L	1.61	4.02	8.25	25.95	68.73	85.70
	$S \times 10^2$	3.59	1.17	0.45	0.21	0.08	0.02

河川次數와 河川數, 河川平均延長 및 河川傾斜와의 相關關係를 나타내는 相關係數(r)과 함께 Table-2에 收錄하였다.

小水系別 常數들은 水系의 構成樣相을 表示하는 한 水系의 特性¹³⁾을 나타내며 水系의 平衡狀態를 把握하기 위해 式 (24)의 關係를 錦江水系에 對해 檢

査하기 위하여 水系內의 13個 主要 河川 水系에 對한 媒介變數의 값으로 表示하면 Table-3과 같으며 여기서 河川 延長比를 e^D , 河川 陷沒度를 e^F 로 하여 이것을 圖示한것이 Fig. 2이며 變曲線으로 나타낼 수 있다.

Table-2. Horton의 法則에 의한 回歸常數 및 各種媒介變數 (1 : 50,000)

流域別	回 歸 常 數						相 關 係 數			河川 分岐率 e^B	河川 延長比 e^D	河川 陷沒度 e^F
	A	B	C	D	E	F	N&U	L&U	S&U			
보 강 천	5.758	1.215	-0.818	-0.569	3.248	1.066	0.981	0.862	0.975	3.370	0.566	2.904
천 수 천	6.448	1.333	-0.979	-0.817	2.614	0.879	0.986	0.956	0.944	3.792	0.442	2.408
미 호 천 (본류)	6.752	1.230	-0.906	-0.757	2.562	0.829	0.968	0.921	0.972	3.421	0.469	2.291
장 계 천	5.007	1.042	-0.376	-0.403	3.274	0.870	0.984	0.801	0.957	2.835	0.668	2.387
남 대 천	6.648	1.369	-0.852	-0.816	3.398	0.811	0.992	0.995	0.923	3.931	0.442	2.250
봉 황 천	7.109	1.426	-1.337	-0.798	3.832	1.049	0.999	0.986	0.994	4.162	0.450	2.855
영 동 천	5.687	1.191	-0.559	-0.507	3.728	1.092	0.987	0.889	0.971	3.290	0.602	2.980
초 강	7.642	1.537	-1.527	-1.012	4.059	1.045	0.999	0.974	0.994	4.651	0.363	2.843
보 청 천	7.290	1.440	-1.211	-0.939	4.067	1.230	0.999	0.907	0.991	4.221	0.391	3.421
갑 천	7.488	1.301	-0.911	-0.667	3.866	1.062	0.993	0.833	0.970	3.673	0.513	2.892
금 강 상 류	7.435	1.233	-0.722	-0.716	3.956	1.173	0.915	0.688	0.885	3.432	0.489	3.232
유 구 천	6.635	1.327	-1.468	-0.882	3.982	1.009	0.996	0.921	0.917	3.770	0.414	2.743
논 산 천	7.035	1.208	-1.258	-0.860	3.832	1.214	0.988	0.939	0.999	3.347	0.423	3.367
금 강 전 유역	9.950	1.450	-0.954	-0.826	4.934	1.588	0.999	0.982	0.804	4.263	0.438	4.894

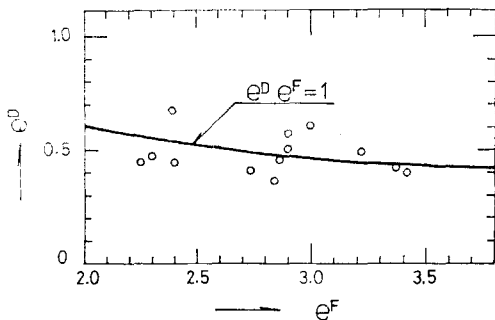


Fig.2. Stream length ratio and Stream Concavity relations

Table-3. 主要 河川의 平均延長比, 平均陷沒度 및 平均落下高比.

河 川 名	平 均 延長比 e^D	平 均 陷沒度 e^F	平 均 落下 高比 e^{D+F}
보 강 천	0.566	2.904	1.644
천 수 천	0.442	2.408	1.016
미 호 천 (본류)	0.469	2.291	1.074
장 계 천	0.668	2.387	1.595
남 대 천	0.442	2.250	0.995
봉 황 천	0.450	2.855	1.285
영 동 천	0.602	2.980	1.794
초 강	0.363	2.843	1.032

보	청	천	0.391	3.421	1.338
갑		천	0.513	2.892	1.484
금	강	상	0.489	3.232	1.580
유	구	천	0.414	2.743	1.136
논	산	천	0.423	3.367	1.424
금	강	전	0.438	4.894	2.143
평	균	치	—	—	1.395

3. 河川縱斷式

一般的으로 河川縱斷은 河川의 本流를 따라 測定한 水平距離에 對한 高度로 表示한다.

水系에 對한 河川 理論縱斷은 아래와 같이 誘導된다.

式 (17)과 式 (18)에서

$$Lu = e^{C-Du} \tag{25}$$

$$Su = e^{E-Fu} \tag{26}$$

여기서 $Su = \frac{Yu}{Lu}$ 이므로

$$\begin{aligned} Yu &= Lu \cdot Su \\ &= e^{(C-Du)} e^{(E-Fu)} \\ &= e^{(C+E)-(D+F)u} \end{aligned} \tag{27}$$

1次 河川의 始發點에서 n次 河川까지 測定한 總落下高 Z_m 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Z_m &= \sum_{u=1}^n Yu \\ &= e^{(C+E)} \sum_{u=1}^n e^{-(D+F)u} \end{aligned} \tag{28}$$

1次 河川에서 n次 河川까지 測定한 水平距離의 總計 X_m 은 式 (25), (26)에서 다음과 같이 表示된다.

$$\begin{aligned} X_m &= \sum_{u=1}^n Lu \\ &= e^C \sum_{u=1}^n e^{-Du} \end{aligned} \tag{29}$$

河川 次數를 媒介變數로 유도된 式 (28)과 (29)을 理論縱斷(Theoretical profile)이라 하며 全水系의 流域特性을 나타내는 河川 形態學의 特性 因子로부터 誘導된 式이므로 河道의 發達過程과 水路의 特性을 把握할 수 있으므로 現在 使用하고 있는 實測縱斷(Actual profile)에 비하여 妥當性있는 計算이라 할 수 있다.

平衡 縱斷式을 求하기 위하여 式 (28)을 式 (24)에 代入하면

$$Z_m = n \cdot e^{(C+E)} \tag{30}$$

式(29)와 式(30)을 平衡縱斷(Equilibrium profile)이라고 한다.

主流에 따라 測定한 實測縱斷, 平衡縱斷이 河川의 縱斷을 表示한 方法이며 特히 平衡縱斷은 流域의 發達過程을 測定할 수 있는 有用한 方法이다.

위 式들로부터 地形圖에서 얻은 實測值와 比較함으로써 河床 變動性向을 豫測할 수 있다.

4. 河川縱斷의 計算

河川縱斷의 算定은 前述한 理論縱斷과 平衡縱斷 및 實測縱斷으로 計算할 수 있다.

理論 縱斷은 式 (29)로부터 水平距離를 算定할 수 있고, 式 (28)로부터 落下高를 計算하여 Table-4에 表示하였다.

Table-4. Yang의 理論 縱斷值

河川名		河川次數						
		1	2	3	4	5	6	7
보 강 천	Xm	0.779	2.156	4.586	8.881	16.467		
	Zm	6.906	11.109	13.665	15.221	16.164		
천 수 천	Xm	0.851	2.778	7.139	17.013	39.363		
	Zm	4.821	9.355	13.612	17.613	21.373		
미호천(분류)	Xm	0.861	2.143	6.057	14.402	32.192	70.119	
	Zm	4.877	9.413	13.635	17.563	21.219	24.619	
장 계 천	Xm	1.028	2.566	4.867	8.311	13.465		
	Zm	11.373	22.745	27.207	30.000	31.760		

位置에너지 概念에 依한 水系의 河川縱斷推定

남 대 천	Xm	0.965	3.149	8.087	19.255	44.510		
	Zm	12.820	25.703	38.651	51.662	64.737		
봉 황 천	Xm	0.584	1.882	4.763	11.164	25.380		
	Zm	9.431	16.765	22.474	26.911	30.366		
영 동 천	Xm	0.950	2.527	5.145	9.491	16.708		
	Zm	13.248	20.621	24.735	27.019	28.303		
초 강	Xm	0.597	2.239	6.758	19.188	53.385		
	Zm	12.176	23.950	35.347	46.366	57.033		
보 청 천	Xm	0.762	2.711	7.696	20.443	53.044		
	Zm	13.009	22.731	30.001	35.428	39.480		
갑 천	Xm	0.783	2.309	5.282	11.076	22.363	44.355	
	Zm	12.942	21.660	27.536	31.491	34.160	35.946	
금 강 상 류	Xm	0.994	3.029	7.193	15.714	33.149	68.824	141.824
	Zm	16.066	26.244	32.691	36.777	39.366	40.990	42.031
유 구 천	Xm	0.556	1.898	5.141	12.973	31.895		
	Zm	10.884	20.471	28.908	36.345	42.893		
논 산 천	Xm	0.671	2.257	6.005	14.862	35.793	85.256	
	Zm	9.209	15.676	20.215	23.403	25.633	27.207	

Xm: 水平距離(km), Zm; 落下高(m)

Table-5. Yang의 平衡 縱斷值

河川名	河川次數	1	2	3	4	5	6	7
보 강 천	Xm	0.779	2.156	4.586	8.881	16.467		
	Zm	11.359	22.718	34.077	45.436	56.795		
천 수 천	Xm	0.851	2.778	7.139	17.013	39.363		
	Zm	5.129	10.258	15.387	20.516	26.645		
미호천(분류)	Xm	0.861	2.143	6.057	14.402	32.192	70.119	
	Zm	5.238	10.476	15.714	20.952	26.190	31.428	
장 계 천	Xm	1.028	2.566	4.867	8.311	13.465		
	Zm	18.138	36.276	54.414	72.552	90.690		
남 내 천	Xm	0.965	3.149	8.087	19.255	44.510		
	Zm	12.756	25.512	38.268	51.024	63.780		
봉 황 천	Xm	0.584	1.882	4.763	11.164	25.380		
	Zm	12.122	24.244	36.366	48.488	60.610		

영 동 천	Xm	0.950	2.527	5.145	9.491	16.708		
	Zm	23.784	47.568	71.352	95.136	118.920		
초 강	Xm	0.597	2.239	6.758	19.188	53.385		
	Zm	12.579	25.158	37.737	50.316	62.895		
보 청 천	Xm	0.762	2.711	7.696	20.443	53.044		
	Zm	17.392	34.784	52.176	69.568	86.960		
갑 천	Xm	0.783	2.309	5.282	11.076	22.363	44.355	
	Zm	19.202	38.404	57.606	76.808	96.010	115.212	
금 강 상 류	Xm	0.994	3.029	7.193	15.714	33.149	68.824	141.824
	Zm	25.381	50.762	76.143	101.524	126.905	152.286	177.667
유 구 천	Xm	0.556	1.898	5.141	12.973	31.895		
	Zm	12.354	24.703	37.062	49.416	61.770		
논 산 천	Xm	0.671	2.257	6.005	14.862	35.793	85.256	
	Zm	13.118	26.236	39.354	52.472	65.590	78.708	

Xm; 水平距離(km), Zm; 落下高(m)

Table-6. 河川 實測 縱斷值

河川名		測定回數												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
보 강 천	Xm	0.5	1.5	2.5	4.0	8.5	15.0	20.0						
	Zm	100	180	200	220	240	250	257						
천 수 천	Xm	1.0	4.5	6.5	10.0	31.0	41.0	46.0						
	Zm	20	80	100	120	160	170	175						
미 호 천 (분류)	Xm	4.0	9.5	22.5	45.0	56.0	76.0	83.5						
	Zm	160	180	200	220	230	240	242						
장 계 천	Xm	0.5	1.5	3.0	4.5	6.0	8.0	11.0	15.5					
	Zm	100	200	260	300	320	340	360	380					
남 대 천	Xm	1.0	4.0	9.5	16.0	21.5	27.5	34.0	47.0	54.5	57.5			
	Zm	80	280	380	480	580	680	720	780	800	820			
봉 황 천	Xm	1.0	5.5	11.0	20.0	25.5	32.5							
	Zm	140	220	240	280	300	310							
영 동 천	Xm	1.5	3.0	4.5	6.0	7.0	9.0	11.0	13.0	19.0	24.5			
	Zm	400	500	540	560	580	600	630	650	660	710			
초 강	Xm	1.0	5.0	14.0	28.0	30.0	34.0	41.0	48.0	63.0				
	Zm	200	230	260	300	320	340	360	380	410				

位置에너지 概念에 의한 水系의 河川縱斷推定

보창천	Xm	0.5	1.5	3.5	8.0	15.5	32.0	41.5	55.5					
	Zm	200	300	360	400	450	490	500	503					
갑천	Xm	0.5	1.0	1.5	7.0	11.0	19.5	29.0	43.0	54.5	60.5			
	Zm	200	300	400	470	500	520	540	560	570	572			
금강상류	Xm	1.5	9.0	23.5	43.5	62.0	98.5	152.5	188.5	219.0	247.0	285.5	316.5	346.5
	Zm	140	240	340	400	440	480	540	560	580	600	620	630	635
유구천	Xm	1.0	2.0	3.0	4.0	6.0	8.5	11.0	13.5	15.5	20.0	41.0		
	Zm	60	80	100	120	160	180	190	200	210	200	240		
문산천	Xm	1.0	3.5	8.5	13.0	26.0	39.0	55.0						
	Zm	140	240	300	340	400	430	437						

Xm; 水平距離(km), Zm; 落下高(m)

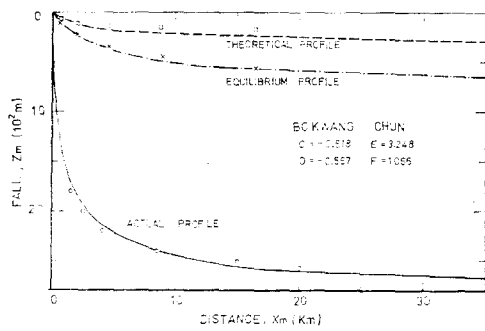


Fig. 3. Comparison River bed profile at Bokwang chun

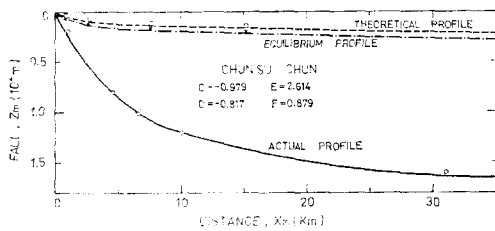


Fig. 4. Comparison River bed profile at chun su chun

平衡縱斷은 式(29)과 式(30)으로 計算하여 Table-5에 表示하였으며 實測縱斷은 各 支流別로 主流를 따라 地形圖에서 水平距離에 따른 標高落下量을 等高線에 依해 求하여 Table-6에 表示하였다.

Table-4, Table-5 및 Table-6의 값을 利用하여

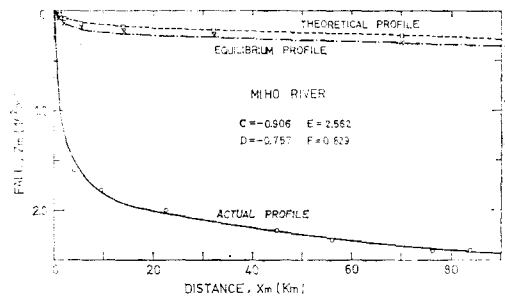


Fig. 5. Comparison River bed profile at Miho River

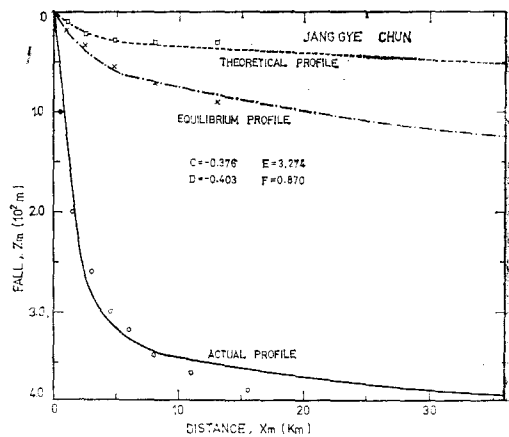


Fig. 6. Comparison River bed profile at Jang Gye Chun

河床縱斷曲線을 圖示하여 Fig.-3~Fig.-15로 나타냈다.

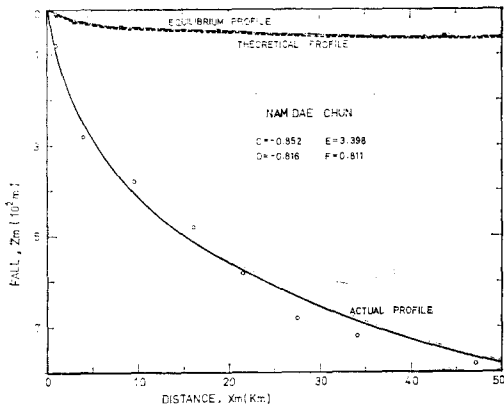


Fig. 7. Comparison River bed profile at Nam Dae Chun

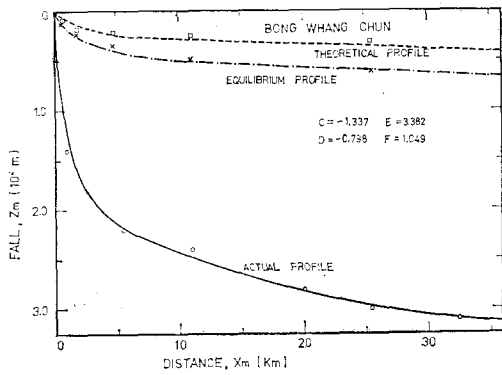


Fig. 8. Comparison River bed profile at Bong Whang Chun

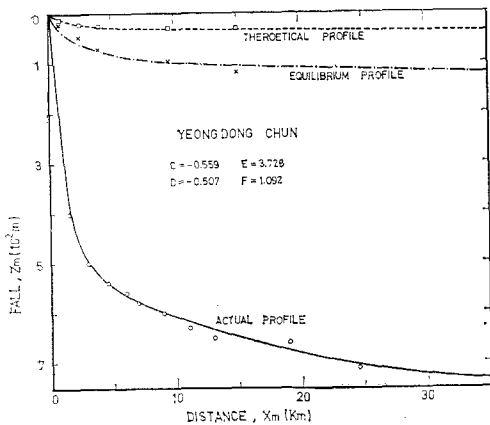


Fig. 9. Comparison River bed profile at Yeong Dong Chun

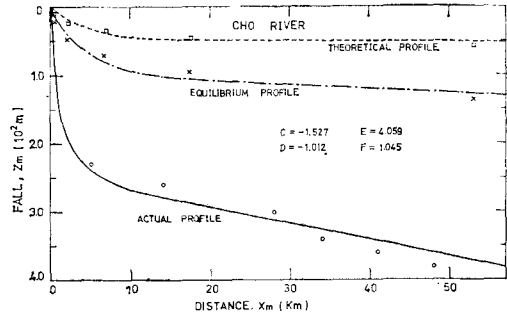


Fig. 10. Comparison River bed profile at Cho River

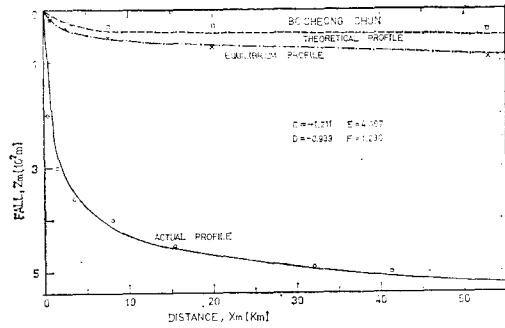


Fig. 11. Comparison River bed profile at Bo Cheong Chun

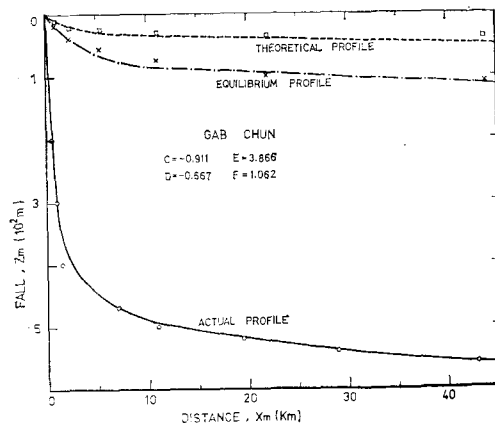


Fig. 12. Comparison River bed profile at Gab Chun

Fig. 3~Fig. 15까지에서 알 수 있는 것과 같이地形圖로부터 얻은 實測縱斷曲線은 理論縱斷曲線과 거의 一致하지 않고 있다.

그 理由는 各 河川에 對한 式(16)~(18)의 關係

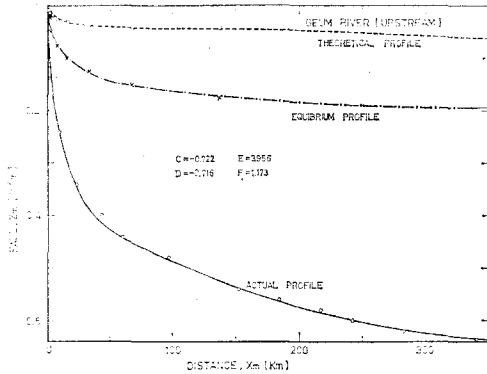


Fig. 13. Comparison River bed profile at Geum River

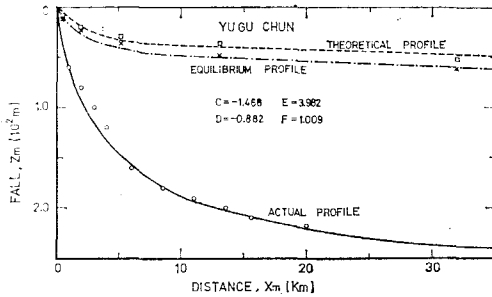


Fig. 14. Comparison River bed profile at Yu Gu Chun

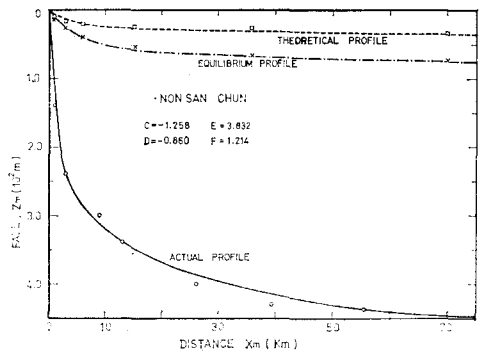


Fig. 15. Comparison River bed profile at Non San Chun

는 大體로 直線에 가까우나 實測資料와 直線間에는 어느 程度의 偏差가 있으므로 理論縱斷曲線과 實測縱斷曲線間의 偏差도 나게 되기 때문으로 볼 수 있다.

다시 말하면 Horton의 法則으로부터 偏差가 크면

클수록 理論縱斷 曲線과 實測縱斷曲線사이의 偏差도 크게 된다. 이는 두 縱斷曲線의 偏差가 比較的 큰 장계천의 경우 式(16)~(18)에 該當하는 相關係數가 各各 0.984, 0.801, 0.957임에 反하여 偏差가 比較的 적은 봉황천의 경우 相關係數가 各各 0.999, 0.986, 0.994임을 觀察하면 쉽게 알 수 있다.

Fig. 3~15까지의 理論縱斷 曲線과 平衡縱斷 曲線間의 偏差는 各 河川의 平均落下高比가 남대천을 除外하고는 모든指流가 1보다 크다. 平均 落下高比가 1보다 크면 平衡縱斷 曲線은 理論縱斷 曲線보다 낮은 標高를 갖게됨을 式(28)~(30)으로 알 수 있다.

그러므로, Fig. 3~15의 結果는 式(28)~(30)의 理論式과 一致함을 알 수 있다. 만약 어떤 水계가 動的 平衡 狀態 中 成熟期에 到達했다면 平均落下高比는 1.0이 될 것이며 理論縱斷 曲線과 平衡縱斷 曲線은 一致할 것이다.

그러므로, 어떤 河川 水系的 實在平均 落下高比는 그 水계가 河川形態學的 成熟度를 表示하는 指標가 되며 任意 河床의 長期的 變動性向을 豫測하는 資料가 된다.

式(28)~(29)로 表示되는 理論縱斷 曲線을 實測縱斷 曲線과 比較하면 水系內의 任意區間에서 過去에 發生된 地質學的 變動을 推定할 수가 있다.

IV. 結 論

錦江流域의 13個 水계에 對한 1次 河川을 除外한 2次 河川以上에 對하여 位置에너지 概念에 依한 河川形態學的 特性을 分析하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 錦江水系의 13個 河川에 對한 Horton-Strahler의 形態學的 媒介變數(e, DeF)를 決定하여 平均 河川 落下高法則과 比較해 본 結果 平均 河川 落下高比가 1.0에 가까워 比較의 一致함을 보였고, 13個 水계에 對한 平均落下高는 約 1.395로서 水계가 成熟期를 벗어 나 老年期에 接해 있음을 推定할 수 있다.

2. 錦江水系의 13個 河川은 대체로 Horton-Strahler의 3大法則을 滿足시키며, 이들 法則으로부터 理論縱斷 曲線의 方程式을 滿足시키며 이 曲線은 全水系의 一般의인 河川形態學的 特性을 代表하는 河床縱斷 曲線으로서 水系內의 特定河川의 河床縱斷 曲線보다 一般性을 가지므로 實測縱斷과 比較하므로써 水系內의 地質學的인 變動狀態를 推定할 수

있다.

3. Horton-Strahler의 3大法則과 平均河川 落下高의 法則을 同時에 適用하면 動的 平衡狀態下의 河床縱斷曲線을 代表하는 方程式을 얻을 수 있고, 實測縱斷曲線과 平衡縱斷曲線의 比較로부터 各 主要河川의 長期的인 河床變動性向을 判斷하여 보니 남대천(0.995)을 除外한 各 水系의 平均落下高比는 1.0보다 크므로 長期的으로 볼 때 大部分 河川의 河床이 洗掘된 狀態이며 남대천만이 河床이 平衡狀態에 突入하고 있음을 推定할 수 있다.

4. Fig. 3~15에서 알 수 있듯이 同一水系內에서 各各의 水系는 全般的으로 Yang의 理論縱斷値와 平衡縱斷値와는 거의 一致한 값을 나타내고 있으나 實測縱斷値와는 相當한 差異를 나타내고 있어 理論縱斷式 및 平衡縱斷式으로 河川縱斷을 推定計算하기는 問題點이 있는 것으로 判斷된다.

參 考 文 獻

1. Hack, J.T., "Studies longitudinal stream profile Virginia and Maryland." U.S. Geo. Sur. Prof. paper. 1957, pp. 294.
2. Horton, R.E., "Erosional development of stream and their drainage basins-Hydrophysical approach to quantitative morphology." Bull. Geol. Soc. of Amer., Vol. 56(3), 1945, pp. 275~370.
3. Horton, R.E., "Drainage basin characteristics." Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 13, 1932, pp. 350~361.
4. Leopold, L.B., and Langbein, W.B., "The concept of entropy in landscape evolution." U.S., Geo. Sur. Prof. paper 500~a, 1962.
5. Leopold, L.B., and others., "Fluvial processes in geomorphology." W.H. Freeman and Co., San Francisco., 1945, pp.522~530.
6. Lewis, G.N., and Randall, M., "Thermodynamics." revised by Pitzer, K.S. and Brewer, L., 2nd Ed., Mc Graw-Hill, New York, 1961. pp. 91~92.
7. Stall, J.B., and Yang, C.T., "Hydraulic geometry of 12 selected stream system of the United States." Research Rept., No32, Water Res. Center, Univ. of Illinois, Urbana, 1970.
8. Yang, C.T., "Potential energy and stream morphology." Presented at the 51st American Geophysical Union Annual Meeting, Sheraton-Park Hotel. Washington, D.C., April. 20~24, 1970.
9. 建設部, "洛東江 流域水資源 開發計劃" Vol. 3, 1968.
10. 姜瑄沅 外 2人, "小河川 水系의 流域特性에 關한 研究, 韓國水文學會誌, 第10卷, 第1號, 1977年 6月, pp. 71~77,
11. 安相鎮, "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" 工學博士學位論文, 1980年 7月, pp. 7~15.
12. 尹龍男, "水文學" 淸文閣, 1976, p. 146.
13. 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2卷 第1號, 1973年 3月, pp. 46~59.
14. 尹龍男, "位置에너지概念에 依한 水系의 河川形態學의 分析" 大韓土木學會誌 第2卷, 第1號, 1973年 6月, pp. 95~105.
15. 趙容璣, "中小河川水系의 河川形態學의 特性" 忠北大學校 大學院 論文集 第6輯, 別冊, 1980年 pp. 3~14.
16. 安相鎮外, "地圖縮尺의 影響에 따른 河川形態學의 特性研究" 韓國農工學會誌, 第21卷 1號, 1981年 3月 pp.64~74.