

# 太和江 流砂 特性에 關하여

鄭永植·柳明辰·黃忠鉉

土木工學科

## <요 약>

太和江 水系的 地質과 河川形態學的 特性을 硏究 하였다. 本 水系的 流砂는 一般的으로 花崗岩 地帶에서 많으며 河川形態學的 影響보다 地質의 影響을 더욱 많이 받는 것으로 보인다.

## On the Characteristics of Sediment in Taehwa Stream System

Chung, Young Sik · Yu, Myung Jin · Hwang, Choong Hyun

Dept. of Civil Engineering

## <Abstract>

The geology and stream morphological characteristics of Taehwa stream system were studied. Sediment Yields from the areas where granite is prevailing are higher than others in this stream system. And, in this stream system, sediment yields seem to be more influenced by the geology of the drainage basin than by the stream morphological characteristics.

### I. 序 論

太和江 및 東川江은 蔚山工業團地에 用水를 供給하고 蔚山과 釜山 일원에 骨材를 供給하는 經濟的 意味을 지닌 河川이다. 蔚山에 工業團地 建設이 시작된 이래 계속 그 규모가 커 지면서 本 河川의 役割도 더욱 重要해 지고 特別 骨材 및 石材源이 貧困한 釜山-蔚山 일대에서 重要한 骨材資源의 供給處가 되어 있다.

그간 太和江 및 東川江의 流砂量에 對하여는 數次 實測 또는 算定된 바 있는데<sup>1)2)</sup> 太和江의 河口로부터 11km 地點인 三湖橋에서의 年間 流砂量은 大개 5萬~15萬 M<sup>3</sup>이고, 東川江의 合流點으로부터 3 km 地點인 兵營橋에서의 年間 流砂量은 大개 25萬~50萬 M<sup>3</sup>이다. 本 硏究는 太和 및 東川江水系의 地形 및 地質의 特性을 밝히고 河川形態學的 特性因子와 여러가지 媒介變數를 求하여 本水系的 流砂의 特性을 알아 보려 하였다.

### II. 流域의 概況

太和江은 太白山脈 南端部の 峻峰 高嶺에서 發源 東流하여 蔚山灣에 流入하는 流路 42km, 流域面積 430km<sup>2</sup>의 圓形의 流域을 가지는 河川이다. 標高 1240m의 加智山에서 發源, 東南方向으로 流下하는 第1支川(南川)과 肝月山 神佛山 측지선에서 發源 東北 方向으로 流下하는 第2支川이 河口로부터 28km 地點에서 合流하고 이것이 다시 東流하면서 南部 三南面 一帶에서 北流하는 第3支川(죽성천)과 河口로부터 25km 지점에서, 北部 斗東面 일대에서 南流하는 第4支川(三政川)과 河口로부터 21km 지점에서, 凡西面 中里로 부터의 第5支川과 河口로부터 18km 지점에서, 凡西面 尺果里로 부터의 第6支川과 河口로부터 12km 지점에서 각각 合流한다.

東川江은 慶北 月城郡 外東面 槓陵里에서 分水嶺을 가지고 南流하여 太和江에 合流하는 流路延長 22km, 流域面積 165km<sup>2</sup>의 長方形의 流域型을 가지는 河川이다. 太和江이 典型的인 圓形流域型임에 反

하이 東川江은 典型的인 長方形 流域型으로 뚜렷한 支川이 없고 本流는 流域中心을 貫通한다.

太和江과 東川江의 流域은 標高 200m 内外의 連峰을 사이에 두고 인접해 있으며 標高 765m의 鷓述嶺에서 太和江, 東川江, 兄山江이 分界한다.

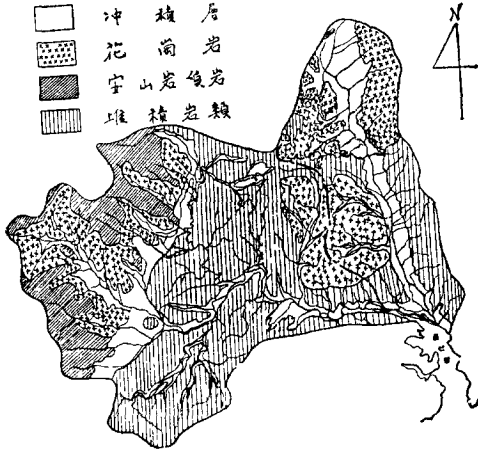


그림 1. 太和江 및 東川江 流域의 地質圖

### Ⅲ. 地形 및 地質

太和江 流域은 梁山—彥陽—慶州—浦項을 잇는 彥陽斷層<sup>3)</sup>을 中心으로 東西로 兩分되어 뚜렷한 地形 및 地質의 差異를 보이고 있다. 彥陽斷層의 西部는 安山岩質岩과 花崗岩等 火成岩類로 되어 있고 東部는 新羅統의 堆積岩類가 大部分이고 東川江과 의 分水嶺부근 一部에 花崗岩이 分布되어 있으며 堆積岩類 地域에서는 Subdendritic 水系를, 火成岩類 地域에서는 Subparallel 水系를<sup>4)</sup> 이루고 있는것이 特徵이다.

太和江의 主要支川中 第1支川의 流域에는 新羅統의 主山安山岩質岩을 貫入한 佛國寺統의 彥陽花崗岩이 大部分 分布되어 있으며 風化, 浸蝕에 弱해 깊은 계곡을 形成하고 있다. 第2支川의 流域은 일부 主山安山岩質岩, 일부 彥陽花崗岩으로 되어있고 特別 本支川의 主流의 東南岸은 높이 40~80m의 堆積岩類의 절벽이 연속되어 있다. 즉 이 第2支川은

安山岩質岩 또는 花崗岩 地帶로부터 東流하는 小支 流들이 上述한 절벽을 따라 東北流하는 主流에 合 流하며 主流가 流域의 東南緣邊과 一致하는 特異한 地形을 이루고 있다. 第3支川의 流域은 大部分이 新羅統의 堆積岩類로 되어 있고 第4支川의 流域은 前述한 彥陽斷層이 橫斷하이 그 西部는 安山岩質岩 乃至 花崗岩이, 그 東部는 堆積岩類가 各各 分布되어 있으며 第3支川에는 大岩堤가, 第4支川에는 泗淵堤가 있어 大部分의 流砂가 停止되고 있다. 第5 支川은 堆積岩類가, 第6支川은 西半部에 堆積岩類 東半部에 花崗岩이 各各 分布되어 있으며 이 第5,6 支川은 岩質이 弱하고 林相이 좋지 못하여 많은 流 砂를 本流에 供給하고 있다.

東川江은 全流域이 大部分 花崗岩으로 이루어져 있으며 岩質이 弱하고 林相이 不良하이 流砂量이 많다.

### Ⅳ. 河川 形態學的 考察

#### 1. Horton의 法則

Strahler의 河川次數 決定法(Strahler's Ordering System)을 따르면 Horton의 河川數의 法則(law of stream numbers), 河川平均延長의 法則(law of average stream length), 河川平均傾斜의 法則(law of average stream slope)은 각각 다음과 같 이 표시된다.

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

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

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

여기서  $u$ 는 河川次數,  $N_u, L_u, S_u$ 는 各各  $u$ 次 河川의 數, 平均延長, 平均傾斜를 나타내며  $A, B, C, D, E, F$ 는 常數이다.

太和江水系의 主要支川 및 本流에서 위의 關係가 成立되는지를 알아 보기 爲하여 1:25,000 地形圖로 부터 各支川의 河川次數別 河川數, 平均延長, 平均 傾斜를 調査하고(表 1) 최소자승법에 의하여 위(1) (2)(3)式의 回歸常數(regression constants)  $A, B, C, D, E, F$ 의 값을 구하였으며 또한 相關度를 알아 보기 爲하여 아래식에 따라 各各의 相關係數(correlation coefficient)를 구하여 위의 回歸常數와 함께 表-2에 수록하였다.

$$r = \frac{N(\sum_{u=1}^N u X_u) - \sum_{u=1}^N u \sum_{u=1}^N X_u}{\sqrt{[N(\sum_{u=1}^N u^2) - (\sum_{u=1}^N u)^2][N(\sum_{u=1}^N X_u^2) - (\sum_{u=1}^N X_u)^2]}} \dots\dots\dots (4)$$

<表-1> 太和江 水系의 形態學的 特性因子 總括表

流域名	特性因子	河川						
		次數	1	2	3	4	5	6
第 1 支川	N	136	29	6	1			
	L	0.599	1.431	2.383	11.500			
	S×10 <sup>2</sup>	14.293	4.603	2.070	1.148			
第 2 支川	N	43	10	3	1			
	L	0.716	1.623	3.817	2.900			
	S×10 <sup>2</sup>	15.714	6.619	2.734	0.897			
第 3 支川	N	215	57	13	2	1		
	L	0.469	0.734	1.788	6.688	1.750		
	S×10 <sup>2</sup>	11.171	4.038	2.000	0.351	0.457		
第 4 支川	N	297	78	14	5	1		
	L	0.553	0.831	2.971	2.980	8.125		
	S×10 <sup>2</sup>	14.491	5.123	2.192	0.664	0.615		
第 5 支川	N	35	9	2				
	L	0.461	0.444	2.125				
	S×10 <sup>2</sup>	15.095	8.625	2.424				
第 6 支川	N	70	18	3	1			
	L	0.634	0.688	3.583	6.500			
	S×10 <sup>2</sup>	11.396	3.366	2.000	0.462			
太 和 江	N	859	220	46	11	3	1	
	L	0.562	0.905	2.493	4.505	4.458	21.500	
	S×10 <sup>2</sup>	12.794	4.698	2.096	0.685	0.583	0.126	
東 川 江	N	314	96	26	6	1		
	L	0.676	0.865	1.735	2.771	21.375		
	S×10 <sup>2</sup>	10.622	5.468	2.377	0.776	0.337		

여기서 r은 相關係數, u는 河川次數, X<sub>u</sub>는 lnN<sub>u</sub>, lnL<sub>u</sub>, lnS<sub>u</sub>를 나타낸다.

表-2에서 보는 바와 같이 太和江 水系의 主要 支川과 本流에서 Horton의 河川數, 河川平均延長, 河川平均傾斜의 法則이 大體로 成立됨을 알 수 있으며 太和江과 東川江에 對하여 半對數紙에 表-1과 表-2의 資料를 圖表로 나타낸 것이 그림-2와 그림-3이다.

方程式 (1)(2)(3)에서 常數 A, B, C, D, E, F가 決定되면 이중 B, D, F는 그림-2와 그림-3에 나타난 直線들의 기울기를 나타내며 이들 기울기로부터 水系의 特性을 나타내는 媒介變數(parameter)가 얻어진다. 즉

河川分岐率(bifurcation ratio)은

$$e^B = \frac{N_u}{N_{u+1}} \dots\dots\dots (5)$$

河川延長比(stream length ratio)는

$$e^D = \frac{L_u}{L_{u+1}} \dots\dots\dots (6)$$

河川陷沒度(stream concavity)는

$$e^F = \frac{S_u}{S_{u+1}} = \frac{Y_u/L_u}{Y_{u+1}/L_{u+1}} \dots\dots\dots (7)$$

여기서 Y<sub>u</sub>는 u次 河川의 平均落下高(average fall)로 이들 값들은 역시 表-2에 수록되어 있으며 예를 들어 太和江의 河川分岐率은 3.952로 이는 u次 河川에서 平均 3.952個의 (u-1)次 河川이 分岐함을 意味한다.

2. Yang의 平均 河川落下高 法則

〈表-2〉 Horton의 法則에 對한 回歸常數 및 各種 媒介變數

流域名	回 歸 常 數						相 關 係 數			河川 分岐率 ( $e^A$ )	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			
第1支川	6.596	1.631	-1.555	-0.937	-1.251	0.836	0.999	0.975	0.990	5.111	0.392	2.308
第2支川	4.913	1.249	-0.624	-0.505	-0.851	0.947	0.998	0.881	0.998	3.486	0.603	2.579
第3支川	6.762	1.409	-1.058	-0.484	-1.420	0.884	0.993	0.752	0.956	4.092	0.616	2.420
第4支川	7.100	1.414	-1.296	-0.665	-1.257	0.836	0.998	0.970	0.978	4.110	0.514	2.308
第5支川	5.011	1.431	-1.806	-0.764	-0.858	0.915	1.000	0.855	0.976	4.183	0.466	2.496
第6支川	5.694	1.454	-1.579	-0.863	-1.179	1.014	0.996	0.949	0.986	4.279	0.422	2.756
太和江	8.055	1.374	-1.309	-0.674	-1.249	0.871	0.999	0.970	0.988	3.952	0.510	2.389
東川江	7.354	1.427	-1.602	-0.807	-1.235	0.885	0.997	0.930	0.997	4.167	0.446	2.424

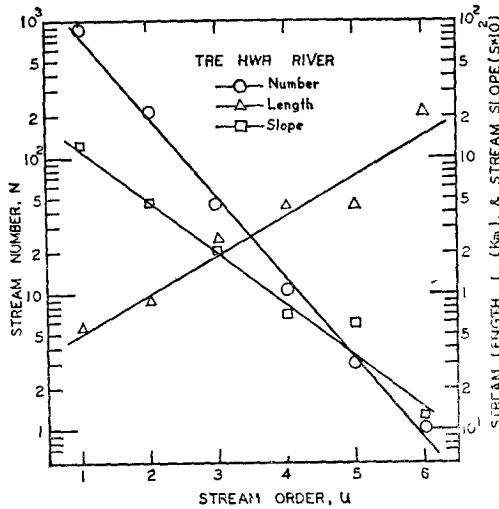


그림 2. 河川形態學의 特性因子와 河川次數 關係 (太湖江)

Yang의 平均 河川落下高 法則<sup>9)</sup>(law of average stream fall)에 따르면 動的平衡狀態에 있는 水系에서는 이 水系內의 各 次數 河川의 平均落下高는 모두 같다. 즉,

$$Y_1 = Y_2 = Y_3 = \dots = Y_m \dots \dots \dots (8)$$

또는

$$\frac{Y_u}{Y_{u+1}} = \frac{Y_u}{Y_{u+2}} = \frac{Y_u}{Y_{u+3}} = \dots = 1 \dots \dots (9)$$

이 된다. 式 (6)과 (7)로부터

$$e^D \cdot e^F = \frac{Y_u}{Y_{u+1}} \dots \dots \dots (10)$$

가 되고 萬一 水系가 動的 平衡狀態에 있다면

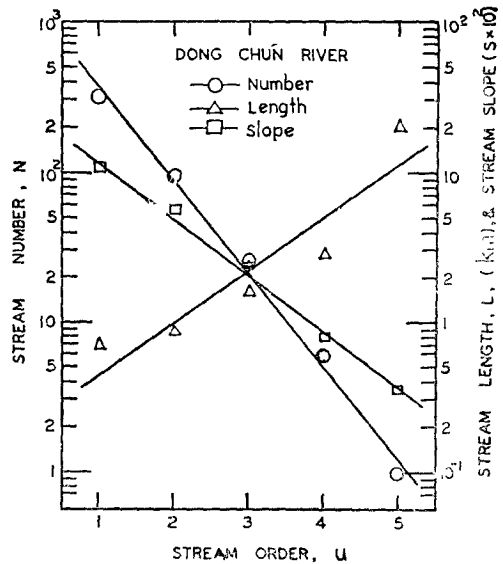


그림 3. 河川形態學의 特性因子와 河川次數 關係 (東川江)

$$e^D \cdot e^F = \frac{Y_u}{Y_{u+1}} = 1 \dots \dots \dots (11)$$

이 될 것이다.

式 (2)와 (3)으로부터 u次 河川의 平均 落下高는

$$Y_u = L_u S_u = e^{(C+I)u - (D+F)u} \dots \dots \dots (12)$$

가 되고 따라서 1次 河川의 始點으로부터 m次 河川의 終點까지의 總落下高  $Z_m$ 는

$$Z_m = \sum_{u=1}^m Y_u = e^{(C+I)} \sum_{u=1}^m e^{-(D+F)u} \dots \dots \dots (13)$$

가 된다. 또 (2)式으로부터 1次 河川의 始點에서 m次 河川의 終點까지의 總 水平距離  $X_m$ 는

$$X_m = \sum_{u=1}^m L_u = e^C \sum_{u=1}^m e^{-uD} \dots \dots \dots (14)$$

이 된다. 式(13)과 (14)로 부터 理論的 河床縱斷曲線(theoretical longitudinal stream bed profile)이 얻어지며 式(13)과 (14)에 實際 水系에서 求한 媒介變數를 代入하여 얻어진 河床縱斷曲線은 그 水系의 特性을 代表하는 것이라 생각할 수 있다. 따라서 이 理論的 河床縱斷 曲線은 水系內的 特定한 河川의 河床縱斷 曲線보다 더욱 一般性을 가지며 더욱 有用한 것이다. 太和江 水系內的 主要支川과 太和江 및 東川江의 平均河川 落下高比(average stream fall ratio)  $e^D \cdot e^F$ 가 表-3에 수록되어 있으며, 理論的 河床 縱斷曲線과 代表的인 河川의 實際의 河床現況이 그림 4~그림 11에 實線과 點으로 各各 表示되어 있다.

<表-3> 支川別 平均落下高比, 水系密度, 起伏量比

河川名	平均落下高比 $e^D e^F$	水系密度 $Dd(km^{-1})$	起伏量比 $R/L$
第1支川	0.904	7.30	0.077
第2支川	1.556	6.52	0.084
第3支川	1.491	9.79	0.060
第4支川	1.186	8.61	0.054
第5支川	1.162	5.51	0.074
第6支川	1.162	7.29	0.052
太和江	1.217	8.19	0.038
東川江	1.081	9.20	0.023

水系가 動的 平衡狀態에 도달하면  $e^D \cdot e^F = 1$  이 되고  $n$ 次 河川의 平均落下高  $Y_n'$ 는

$$Y_n' = e^{C+nE} \dots \dots \dots (15)$$

이 되고 1次 河川에서  $m$ 次 河川까지의 總落下高  $Z_m'$ 는

$$Z_m' = m e^{C+F} \dots \dots \dots (16)$$

이 된다. 그림 4~그림 11에서 各 支川과 太和江, 東川江이 動的 平衡狀態에 도달 했을때의 河床縱斷 曲線을 破線으로 表示하였다.

表-3과 그림 4~그림 11에서 알 수 있는 바와 같이 太和江 水系의 支川中 第1支川은  $e^D \cdot e^F$ 가 1보다 작고 平衡河床曲線이 理論的 河床曲線보다 높으며 나머지는 모두  $e^D \cdot e^F$ 가 1보다 크고 平衡河床曲線이 理論的 河床曲線보다 낮다. 즉 河川이 動的 平衡狀態

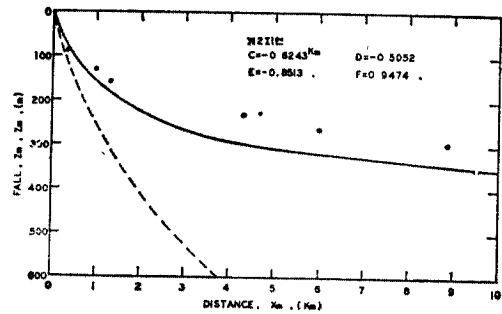


그림 5. 河床縱斷曲線 (제 2 지천)

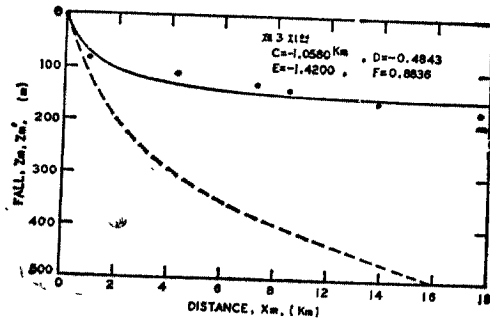


그림 6. 河床縱斷曲線 (제 3 지천)

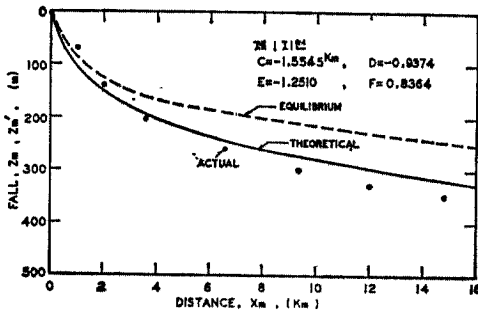


그림 4. 河床縱斷曲線 (제 1 지천)

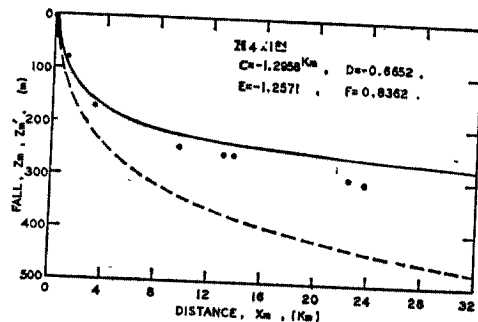


그림 7. 河床縱斷曲線 (제 4 지천)

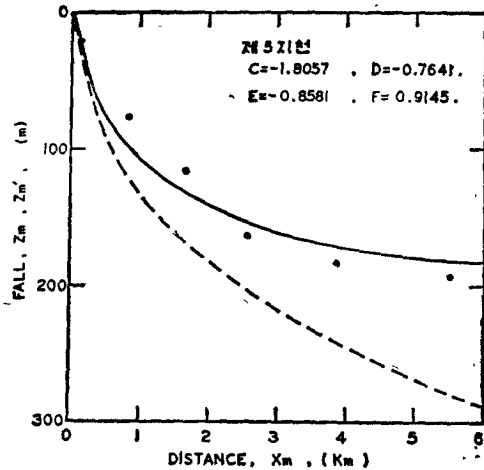


그림 8. 河床縱斷曲線 (제 5 지선)

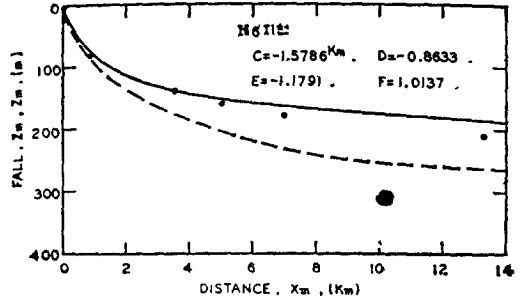


그림 9. 河床縱斷曲線 (제 6 지선)

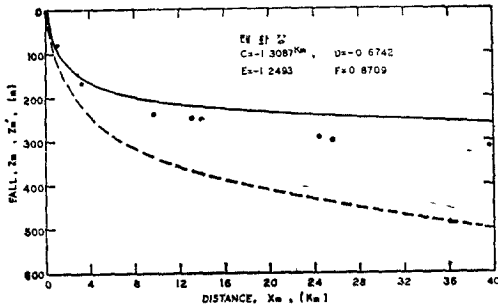


그림 10. 河床縱斷曲線 (태화강)

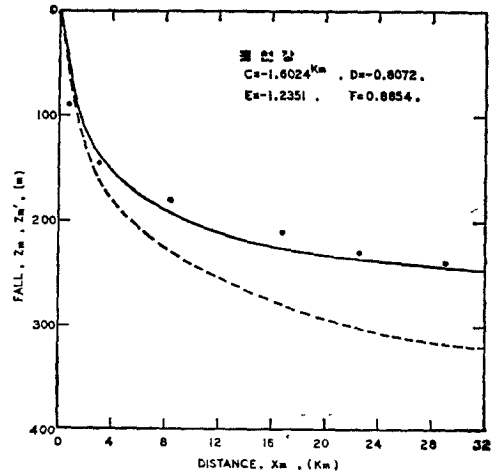


그림 11. 河床縱斷曲線 (동천강)

에 도달하기 위하여 第1支川은 앞으로 河床이 높아질 것이고 그 외는 모두 河床이 낮아질 것이라는 豫測을 받게 한다. 또 太和江 東川江 共히  $e^D \cdot e^F$ 가 1 보다 크고 動的 平衡狀態에 도달하기 위하여 河床이 낮아질 것이 豫想된다.

### 3. 水系密度와 起伏量比

水系密度(Drainage Density)는 流域內의 總流路 延長을 流域面積으로 나눈 값으로 單位面積內를 흐르는 流路의 延長이 된다. 表-3에 수록되어 있는 바와 같이 太和江의 各支川과 太和江 全水系 및

東川江의 水系密度는 대략  $5 \sim 10 \text{ km}^{-1}$  ( $9 \sim 16 \text{ mi}^{-1}$ )이다. A. N. Strahler의 研究<sup>5)</sup>에 따르면 太和江 및 東川江 流域의 浸蝕에 對한 抵抗은 中等程度이며 太和 및 東川의 水系密度는 California 海岸 地方의 相當히 風化된 火成岩 및 變成岩 地帶의 水系密度보다 약간 작은 값을 알 수 있다.

起伏量比(Relief ratio)는 流域의 頂點과 河口間의 높이差(basin relief)를 流域의 最長邊의 길이로 나눈 값이다. 表-3에서와 같이 太和江의 各支川 및 太和江, 東川江의 起伏量比는 모두 0.1 未滿이며 Schumm<sup>6)</sup>의 結果에 依하면 太和江 및 東川江 流域

은 浸蝕에 抵抗이 強한 것으로 分類된다.

4. Sediment delivery ratio

地表에서 浸蝕된 흙은 一部는 中路에서 堆積되고 一部는 그 地域 밖으로 運搬된다. 水系內的 어느 한 地點에서 생각할때 그 地點의 流域에서 浸蝕된 흙의 全量에 對한 그 地點에서의 流砂量의 比를 sediment delivery ratio라 한다. J. W. Roehl<sup>1)</sup>는 現場調査에서 얻은 資料로부터 delivery ratio와 地形因子間에 아래와 같은 關係가 있음을 밝혔다.

$$\text{Log}D = 4.5 - 0.23 \log 10W - 0.51 \log \frac{L}{R} - 2.79 \log B \quad (17)$$

여기서  $D$ 는 sediment delivery ratio(%),  $W$ 는 流域面積(平方마일),  $L/R$ 은 length-relief ratio,  $B$ 는 河川分岐率이다. 式(17)에 의하여 太和江의 各支川 및 太和江, 東川江의 delivery ratio를 구한 것이 表-4이다. 여기서 太和江 各支川의 delivery ratio가 높고 그 本流의 것이 작은 것은 太和江 本流에서 많은 量의 流砂가 堆積됨을 뜻한다.

<表-4> 支川別 Delivery ratio

河 川 名	Delivery ratio (%)
第 1 支 川	24
第 2 支 川	87
第 3 支 川	40
第 4 支 川	33
第 5 支 川	59
第 6 支 川	38
太 和 江	24
東 川 江	20

V. 結 論

太和江 流域은 彥陽斷層을 境界로하여 地形과 地質에서 뚜렷한 差異를 보이고 있다. 彥陽斷層의 西部地域은 火成岩類로 Subparallel 水系를 이루고 있으며 東部地域은 大部分이 堆積岩類로 Subdendritic 水系를 이루고 있다. 特別 太和 東川 全水系를 通하여 岩質이 花崗岩인 地域에서 流砂가 많다.

太和江 水系의 各支川과 太和江 全水系 및 東川江에서 Horton-Strahler의 3大法則이 大體로 成立됨을 알았으며, Yang의 平均 落下高 法則에 따르면 이 水系가 動的 平衡狀態에 이르기 까지는 大體로

浸蝕될 것이 豫見된다. 太和江 水系의 第1支川은 平均落下高比  $e^D \cdot e^F$ 가 0.904로 動的 平衡狀態에 이르기까지는 장차 堆積될것이 豫想되며 現在는 彥陽邑에서 上流 3km 사이에 많은 流砂가 堆積되고 있다. 한편 第2支川은 平均落下高比가 1.556으로 1로부터 많이 偏倚되어 있으며 이는 前述한 바와같이 이 地域이 彥陽斷層의 影響으로 特異한 水系의 모양을 가진 것을 설명해 준다.

太和江의 各支川으로부터 本流에 供給되는 流砂는 河口로부터 16km~19km 구간인 凡西面 望星里一帶와 河口로부터 12km~15km 구간인 凡西面 屈火里 일대에 主로 堆積되며 流域面積이 작은 第5, 第6支川에서 流砂가 많은 點은 注目할 만하다. 東川江에서는 浸蝕된 流砂가 流路의 中間地點인 慶北 月城郡 外東面 毛火里에서 太和江과의 合流點 사이에 널리 堆積되며 東川江이 太和江보다 流砂가 많은 것은 河川形態學的 特性보다 그 流域의 大部分이 花崗岩으로 되어 있는데 起因한 것으로 보인다.

謝 辭

본 연구는 문교부 연구조성비에 의한 것임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

1. 동천 및 태화강 하상변동 조사 측량보고서, 건설부, 1963
2. 태화강 하구언 건설타당성 조사 보고서, 건설부, 1970
3. 한국 지질도(연양도폭), 국립지질조사소, 1972
4. P. S. Eagleson, "Dynamic Hydrology", McGraw-Hill, 1970
5. A. N. Strahler, "Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology", Transactions American Geophysical Union, Vol.38, No.6, 1957
6. C. T. Yang, "Potential Energy and Stream Morphology", Water Resources Research, Vol.7, No.2, American Geophysical Union, 1971
7. Task Committee on Preparation of Sedimentation Manual, "Sediment Sources and Sediment Yields", Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol.96, No.HY6, 1970