

小河川 流域의 形態學的 水文應答 特性에 관한 研究(1)

趙 弘 濟

土木工學科

(1982. 10. 30 접수)

〈요 약〉

일반적으로 河川 流域의 水系網은 형태와 구성이 다양함으로 降水에 대한 流出應答 또한 복잡하게 발생하게 된다. 河川形態學的 定量的 地形學的 法則은 직접 水文應答의 변수로 결합시키는 것은 보다 합리적인 流出解析의 수단을 제공하며, Itrube et Valdé 등에 의해 처음 시도 되었다. 본 연구에서는 水文應答 함수로서 형태학적 순간단위도법을 선정하여, 流出解析을 시행하기 위한 인자적 연구로서 流域의 형태학적 법칙의 발달 여부와 水文應答의 가장 중요한 因子인 지체시간의 특성에 대한 分析을 시도 하였다. 小河川의 특성 연구를 위해 관측이 수행된 다수의 小河川 및 하천의 小流域을 선정하여 Horton의 定量的 지형학적 법칙의 성립을 분석해 본 결과 비교적 법칙에 따라 잘 발달되어 있었으며 水文應答의 變數로 직접 적용할 수 있음이 판명 되었다. 지체시간은 대수정규분포를 보이는 것으로 판단되며, 河川次數와 지체시간에는 Horton의 법칙과 유사한 인정한 관계가 있음을 알았다.

Characteristics of Geomorphological Hydrologic Response for the Small Drainage Basin

Cho Hong Je.

Dept. of Civil Engineering

(Received October 30, 1982).

〈Abstract〉

In general, Drainage networks possess fantastic variety of forms and shapes, and Hydrologic Response to precipitation inputs into watersheds reveals complexity. It could offer an effective means to couple quantitative geomorphological analysis with the most important hydrologic variable, as was first suggested by Itrube et Valdé.

This is the first step for the Rainfall-Runoff analysis with instantaneous unit hydrograph as hydrologic response function, and analysis to find the development of geomorphological law and the characteristics of basin lag time which is the most important factor of the hydrologic response. Horton's empirical laws were applied to several small basins, and they were well developed according to such geomorphological laws and known to be coupled as variables of hydrologic response.

The distribution of basin lag time shows a log-normal distribution, and There is a regular relation between basin lag time and stream order.

I. 서 론

河川 流域의 地形은 降水에 의해 浸蝕의 과정을 통해 항상 변화한다. 따라서 形態學의 特性도 長期의 變化的으로 變化的하게 되나, 水文氣象學的 因子 및 地質學的 因子와 밀접한 상관성을 가진다. 河川 形態學的 定量的 分析은 1945⁽¹⁾년 Horton이 河川 水系를 하천차수(Stream Order), 하천밀도(Stream Density), 하천분기율(Bifurcation Ratio) 유로연장(Stream length) 등의 量的 표현에 의한 법칙을 발표 함으로서 처음 시도 되었으며, Strahler⁽²⁾에 의해 그 이론이 정립되어 水文, 水理學者에게 많은 資料를 제공해주고 있다. Shreve⁽³⁾의 Horton의 河川數 法則을 이용한 河川網에 대한 통계학적 法則의 발견을 전환점으로 새로운 각도에서 Shreve, Smart⁽⁴⁾ 등에 의해 河川의 定量的 分析이 진행되고 있다. 한편, 河道의 水理學的 特性 및 形態學的 特性은 地點 流量에 상관시킨 첫시도는 Leopold와 Maddock⁽⁵⁾에 의해 수행 되었으며, 水系內의 임의의 지점에서의 流量과 그에 대한 河川幅, 水深, 流速 및 橫斷面積間에는 對數函數 관계가 있음을 밝혔다. Stall et Yang⁽⁶⁾, Morisawa, Marris⁽⁷⁾ 등은 河道의 水理學的 特性과 水系의 形態學的 特性이 밀접한 관계가 있음을 보인바 있다. 이러한 河川 水系의 定量的 解析의 연구는 水文學者들에게 아주 중요한 수단을 제공하였지만, 定量的 地形學的 法則이 水文學的 流出응답(Hydrologic Response)의 중요한 변수로서의 역할은 되지 못하였다. 과거 수문학자들은 水系網이 형태와 구성이 다양함으로 降水에 대한 流出응답 또한 복잡하다는 것을 認知하고 있었으나, 河川 流域의 다양한 형태와 구성은 몇가지의 분류된 지형학적 法則에 의해 설명될 수 있는 것으로 생각함으로써 流域의 水文응답도 몇가지의 기본 法則으로 解析될 수 있을 것으로 생각하여 가장 적절한 降雨 流出응답 모델을 얻고자 노력하여 왔다. 최근 Itrube et Valdé⁽⁸⁾, V.K. Gupta et al⁽⁹⁾ 등은 통계학적 확률 개념으로 형태학적 수문응답함수로서 순간단위도(Instantaneous Unit Graph)를 유도 함으로서 형태학적 法則과 水文응답은 직접 연결시키는 方法을 제시 하였다. 본 연구에서는 형태학적 수문응답 함수로서의 순간단위도 이론을 우리 나라의 소하천이나 하천의 소유역에

적용하여 그 이론의 적합성을 分析하고, 적절한 근대학적 유출응답 모델을 개발하기 위한 첫 단계로서 분석대상 유역을 Horton 法則에 의해 형태학적 특성과 수문응답의 가장 중요한 因子인 지체시간(lag time)의 특성에 대한 分析을 시행하였다. 우리 나라에서는 하천 수계의 定量的 形態學的 연구가 본격적으로 수행되지 못하고 있는 실정이며 최⁽¹⁰⁾운⁽¹¹⁾, 안⁽¹²⁾ 및 건설부⁽¹³⁾의 연구가 실시된바 있다

II. 연구목적 및 범위

本 研究의 목적은 정량적 형태학적 법칙을 因子로 하는 합리적인 水文응답 모델을 개발하기 위한 첫단계로서 형태학적 수문응답의 원리를 소개하고, 降雨 및 流量관측이 실시된 7개 小河川 및 河川의 小流域을 택하여 각종 形態學的 特性을 量的으로 표시하며, 이들 특성의 同一 水系內에서 변동상태와 다른 水系와의 특성을 비교분석 함으로서, 형태학적 法則의 일반성을 검토한다. 이 법칙으로서 각 유역의 수문학적 상사성을 판단할 수 있는 근거를 마련함으로써, 미관측 지점에서의 수문응답을 추정할 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 유역의 形態學的 特性에 대한 표현은 Horton-strahler의 河川 次數 개념에 의하여 하천수, 하천평균연장, 평균경사, 유역면적 등을 하천차수와 상관시켜 각종 특성을 나타내는 매개변수를 결정하였다. 또 水文응답의 중요한 因子인 지체시간(lag time)은 河川 次數와 상관시켜 Horton의 法則과 같이 지체시간의 법칙을 유도 하였다. (同一 水系內에서 각 次數別 降雨 流量의 실측 資料를 획득할 수 있었다면 보다 정확하고 합리적인 解析이 가능 하였으리라 생각된다)

III. 分析資料

1. 流域의 形態學的 特性 資料

形態學的 特性資料인 河川 次數, 河川數, 各 次數別 河川의 平均延長, 平均傾斜, 流域面積은 1/50,000 地形圖를 이용 직접 획득 하였다.

2. 지체시간 資料

小河川 및 河川의 小流域의 流量의 실측자료를 全河川 水系에 걸쳐 미비한 길경이며 특수사업 목적에 의해서 부분적으로 시행되어 왔다.

1980~한강 홍수통제소⁽¹⁴⁾에서 실시한 점강, 홍천강 유역 조사 보고서와 1976~건설부⁽¹⁵⁾의 경안천, 무심천, 신천, 반월지구등의 IHP 조사 보고서 그리고, 72-75 농업진흥공사⁽¹⁶⁾사에서 실시한 금천, 무심천, 경안천, 지석천 등의 受水量公式 보완 사업 조사보고서 등에서 수문곡선을 통해 얻었다.

부분적으로 관측상의 문제점과 관측의 불충분으로, 비교적 정확하다고 판단되는 몇개 지점의 자료를 선정하여 분석을 수행 하였다.

Ⅴ. 基本理論과 資料의 分析

1. 流域의 形態學的 特性 因子

水系網은 Horton Scheme 이나 Strahler Scheme 에 의해 河川 次數에 따라 定量的 表現이 가능하며 수학적 공식화의 신뢰도에 따라 Strahler 의 Scheme 을 주로 使用한다(Smart).⁽⁴⁾ 「그림 1」은 Strahler 의 河川 次數 法則에 의한 모델이며 그 기본 법칙은 다음과 같다. (1) Source 로부터의 Channel 은 1次 河川이다. (2) 2개의 i 次 河川은 $i+1$ 次 河川을 형성한다. (3) 다른 次數의 2개의 河川이 만나면 높은 次數의 河川으로 귀속 된다.

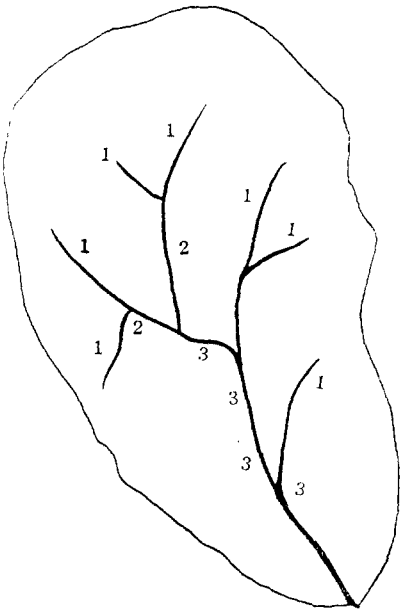


Fig.1 Third-order Basin with Strahler Ordering System

이 方法이 Horton-Strahler 의 河川 次數 決定法 이며, Horton 에 의하면 다음과 같은 관계가 있음 이 알려져 있다.

$$\log_e N_w = A - B \cdot w \quad w=1, 2, \dots, \Omega \text{ (河川 次數)} \quad (1)$$

$$\log_e L_w = C - D \cdot w \quad (2)$$

$$\log_e S_w = E - F \cdot w \quad (3)$$

N_w ; w 次 河川의 數,

L_w ; w 次 河川의 平均 延長.

S_w ; w 次 河川의 平均 傾斜.

A, B, C, \dots, F ; 流域의 特性에 따르는 상수.

上記의 (1), (2), (3) 法則을 河川 數의 法則, 河川 平均 延長 法則, 및 河川 平均 傾斜 法則이라 하며, (1), (2), (3)의 관계가 성립 하는지를 검토하기 위해 各 小河川 및 河川의 小流域에 對한 河川 次數, 河川 數, 河川 延長 및 河川 傾斜를 1/50,000 地形圖를 이 용 決定한 것이 「表 1」에 수록되어 있다.

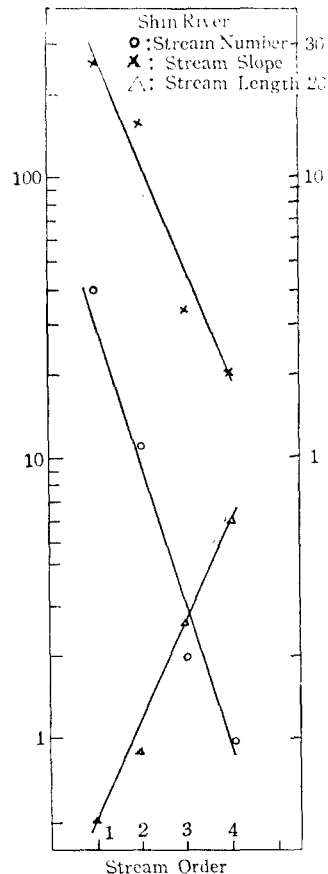


Fig.2 Relation Between Geo. Propertis and Stream Order

〈表 1〉 各 河川 水系의 形態學의 特性因子 (1:50,000)

		하천차수						
			1	2	3	4	5	6
분 류	하천유역면적	N	39	10	3	1		
	하천연장	L	1.67	3.17	5.37	23.3		
남 한 강	유 용 권	S/100	13.33	4.01	1.13	0.86		
			35	10	3	1		
	하 관 역 권		1.03	4.17	2.9	17		
			13.23	4.02	2.93	0.65		
	부 경 권		45	12	4	2	1	
			1.70	2.58	2.55	11.29	2.6	
	인 터 권		15.19	6.07	5.41	2.08	0.16	
			70	16	1			
	이 러 권		1.22	2.76	40			
			12.35	5.96	1.21			
	사 나 권		69	16	2	1		
			1.75	3.59	6.65	27.5		
	공 운 권		13.05	5.62	1.82	0.93		
			140	31	8	2	1	
	침 강		1.22	2.27	4.21	7.3	18.5	
			15.39	6.22	2.32	1.30	0.41	
	경 단 권		50	11	4	1		
			1.60	3.08	3.6	11.9		
	성 조 지		1.25	7.2	2.20	1.04		
			833	228	53	15	4	1
	장 상 지		0.79	1.49	4.53	6.95	9.37	49.75
			14.29	6.51	2.47	1.14	0.44	0.12
	장 상 지		9	3	1			
			1.57	1.17	4.5			
	성 조 지		10.57	5.87	1.24			
			2	1				
	장 상 지		0.8	3.9				
			8.72	1.68				
	장 상 지		6	1				
			1.62	4.8				
	장 상 지		15.9	1.22				
			40	11	2	1		
	장 상 지		1.05	1.83	2.65	12.3		
			31.2	15.23	3.36	2.07		
	장 상 지		87	22	7	2	1	
			1.66	2.49	2.94	10.05	8.7	
	장 상 지		11.04	3.87	1.67	0.96	0.28	
			22	5	2	0		
	장 상 지		1.35	2.58	4.3	0		
			16.46	6.51	3.52	0		
	장 상 지		67	15	4	1		
			1.61	3.24	4.16	24.4		
	장 상 지		8.67	3.36	2.49	0.64		

註 N; 河川數(本), L; 河川延長(km), S; 河川平均傾斜 m/m.

이 자료를 半對數紙에 表示한 것이 「그림 2, 3, 4」이며, 그림에서의 같이 河川次數와 特性因子와의 관계가 거의 직선적인 관계를 나타내므로 위의 法則이 성립함을 알 수 있다. 方程式 (1), (2), (3)에서 河川강수 A, B, C, D, E 및 F는 최소승법을 利用하여 算定하였으며, 상관계수 (r)는 式 (4)로 計算하여 「表 2」에 일부분만 수록하였다.

$$r = \frac{N(X_1w_1) - \sum w_1 \sum x_1}{\sqrt{[N(\sum w_1^2) - (\sum w_1)^2] [N(\sum x_1^2) - (\sum x_1)^2]}} \quad (4)$$

(4)식에서 w는 河川次數, x는 河川數, 平均延長 및 平均傾斜이며 N는 資料의 總數이다.

이와 같이 決定된 常數中 B, D, F의 값으로 다음과 같은 관계식이 의뢰 ((5), (6), (7)) 유역하천을

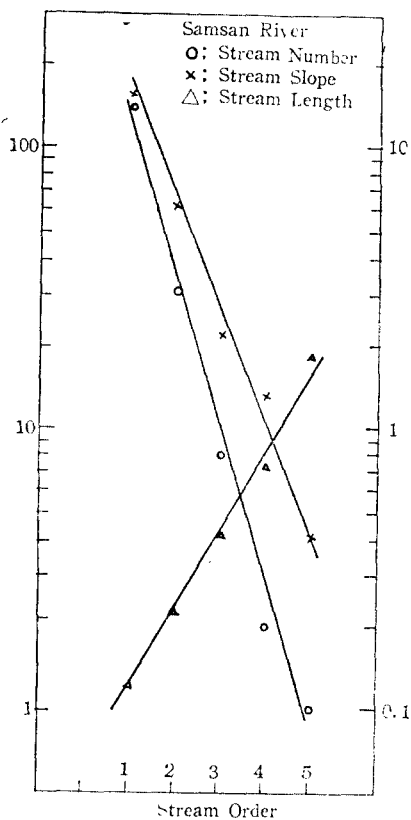


Fig. 3 Relation Between Geo. Properties and Stream Order.

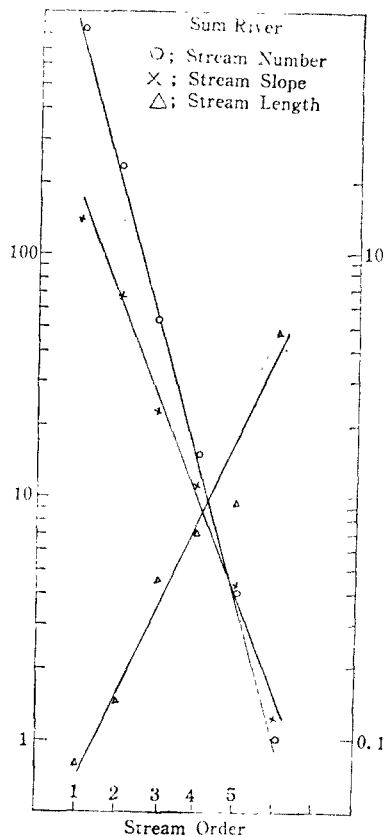


Fig. 4 Relation Between Geo. Properties and Stream Order

〈表 2〉 Horton의 법칙에 대한 회귀상수 및 각종 매개변수

하천명		회귀상수						상관계수			하천	하천	하천
본류	지류	A	B	C	D	E	F	$N \& w$	$L \& w$	$S \& w$	분기율	연장비	함몰로
남한강	유동천	5.28	1.19	-0.59	-0.50	5.56	2.0	0.915	0.688	0.885	3.57	0.50	3.23
	일리천	7.23	1.54	-1.53	-1.01	5.90	1.96	0.994	0.792	0.923	4.07	0.52	3.48
	삼산천	7.21	1.43	-1.23	-0.94	5.83	2.15	0.977	0.855	0.750	3.31	0.47	8.64
	공촌천	4.57	1.19	-1.42	-0.74	4.53	2.16	0.997	0.926	0.819	3.54	0.49	12.60
낙동강	선천	5.11	1.23	-1.36	-0.91	5.67	2.53	0.925	0.913	0.853	4.58	0.38	9.88
영진강	화순천	6.25	1.52	-1.29	-0.88	5.34	2.29	0.968	0.578	0.793	3.09	0.55	12.26
금강	부림천	6.64	1.36	-0.14	-0.81	5.83	1.92	0.985	0.625	0.825	2.78	0.83	14.68

表示하는 매개변수를 決定할 수 있다.

河川의 分岐率(Bifercation Ratio of Stream);

$$\frac{N_w}{N_{w+1}} = e^B = R_B \quad (5)$$

河川의 延長比(Stream length Ratio);

$$\frac{L_w}{L_{w-1}} = e^D = R_L \quad (6)$$

河川의 陷沒度(Stream Concavity)

$$\frac{S_w}{S_{w+1}} = e^F = R_S \quad (7)$$

(5), (6), (7)式에 의해 流域別로 計算된 延長係수의 값은 「表 2」에 수록하였다.

그림 (2), (3), (4)와 表 (1), (2) 및 뒤에 언급된 그림 (5) 및 表(3)의 作成에 使用된 資料들은 1/50,000의 地形圖를 사용하였음은 전술한바와 같으나, 만약 다른 축척의 地形圖를 사용한다면 式 (1)~(3)의 상수 및 式 (5)~(7)의 延長係수의 값이 달라질 것이다. Yang et stall⁽⁶⁾, 안⁽¹²⁾은 地形圖의 축척이 Horton의 法則은 나타내는 관계식에 미치는 유인인 영향은 河川次數를 변경시키는 것뿐이며 上記 式의 관계는 그대로 유지됨을 실증하였다. 따라서 그림 (2)~(5), 表 (1)~(3)의 결과로부터 Horton의 3大 法則을 小河川에 적용할 수 있음을 알 수 있다.

2. 河川延長과 流域面積간의 관계

流域의 排水面積은 流路延長의 자승과 같은次元을 가지며, 유역으로부터의 총유출량 또는 총유수량과 같은 중요한 水文量에 크게 영향을 미치는 因子임을 잘 안다. Schumm⁽¹⁷⁾은 Horton의 하천 연장법칙을 기초로 하여 排水面積의 法則을 발표하였다.

$$\log_e A_i = m - ni \tag{8}$$

m, n : 회귀상수

A_i : 各 次數河川의 流域面積

河川延長 法則((2)式)과 排水面積 法則((8)式)이 상립한다 같은 河川의 平均延長과 排水面積간에 指數函數 관계가 있음을 의미한다. 이에 對한 연구는 Morisawa 및 Grey⁽¹⁸⁾가 시험하였으며, 소대수지에서 거의 직선에 가까운 결과를 보이며 (9)式과 같이 표현하였다.

$$L = aA^b \tag{9}$$

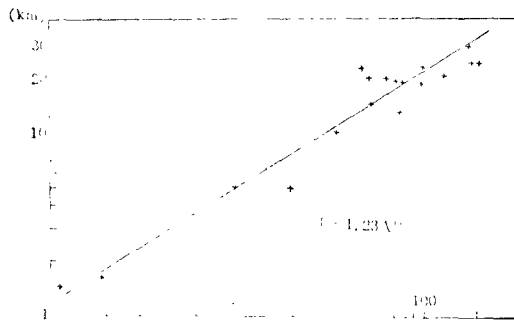


Fig. 5 Relation Between Stream Length and Basin Area (km²)

L : 하천평균연장.

A_i : 유역면적.

a, b : 상수.

各 小河川別 및 小河川 전체에 대해 分析을 시행하였으며, 「그림 5」에서와 같이 거의 직선 分布를 보이며 式 (9)와 같이 표현이 가능함을 알 수 있다. 小河川 전체 유역에 대해서는 $L = 1.23 A_i^{0.63}$ 의 관계를 얻었다.

3. 水文응답의 因子로서의 지체시간

(1) 지체시간의 水文學的 特性

지체시간(lag time)은 流出解析을 위한 水文曲線 合成의 가장 중요한 因子中的 하나로서, 초과강우 추상도(Excess Rainfall Hyetograph)의 齒心과 그로인한 流出水文曲線의 尖頭流量의 발생지점 사이의 거리를 의미 한다. 지체시간은 도달시간, 침투유량발생시간, 집중시간, 침투유량 및 평균유량 등의 水文量의 관측에 비해서 다음과 같은 몇가지의 특징이 있다. (1) 流域의 水文응답 함수인 1次 선형방의 시간변수 k 와 지체시간이 같다는 점으로

$$i - q = k \left(\frac{dq}{dt} \right) \tag{10}$$

i : 임의시간 t 에서 流入量.

q : 임의시간 t 에서의 流出量.

k : 지체시간(lag time).

(2) 同一流域에서 지체시간은 일정하며, 豪雨의 형상(pattern)과 강도(intensity)에 독립이다. (3) 지체시간은 降雨一流出기록에 의해 손쉽게 얻을 수 있다.

(2) 지체시간의 관측 및 분포

各 流域의 出口에서 유량 관측이 실시 되었으나 집중유역의 형성, 문막지점과 대표시험 유역중 반월지구외에는 신뢰성 있는 관측기록을 얻지 못하였다. 各 流域에서 다양한 降雨一流出기록에 의해 많은 지체시간을 얻을 수 있으며 「表 5」에 기록치와 평균치를 수록하였다. 各 次數別 지체시간을 確率紙에 플롯해본 결과 대수경규 확률지에서 거의 직선에 가까운 분포를 보이므로 지체시간은 대수경규 분포를 나타낸다는 것을 알았다. 「그림 6」

(3) 형태학적 특성인자와 지체시간

① 지체시간과 하천차수의 관계

M. J. Boyd⁽¹⁹⁾는 정밀 관측된 同一流域内の 지체시간과 유역특성 因子인 河川次數를 상관시켜 Horton의 法則과 비슷한 지체시간의 법칙(Law of basin lag time)을 유도한바 있다.

〈表 3〉 流域의 지체시간

하천유역	하천차수	호우발생수	평균지체시간 (hr)	표준편차 (hr)	유역면적 (km ²)
성포리	2	12	7.22	2.95	1.66
장상리	2	8	4.68	2.2	1.46
경안천	3	3	4.48	1.39	9.2
부심천	3	4	8.17	2.84	20
황성(섬강)	5	5	10.51	2.24	433
문탁(섬강)	6	4	11.85	2.48	1,361

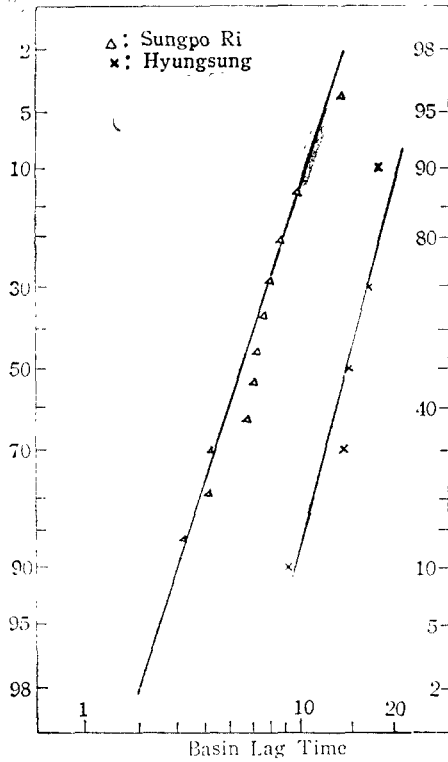


Fig. 6 Distribution of Basin Lag Time

$$\text{Lag}_w = \text{Lag}_1 \cdot R_k^{w-1} \quad (11)$$

여기서, R_k 는 지체시간비, w 는 河川次數

본 연구에서는 同一流域內의 各 河川次數別 지체시간을 얻을수 없었으므로 同一流域內에 대한 分析은 수행하지 못하였으며, 타유역간의 河川次數別 지체시간과 河川次數(表 3)와의 상관분석을 시도하였다. 관측의 불충분으로 인하여 各 次數別 지체시간의 기록(1,4次河川)은 얻지 못하였지만, 次數別 流域의 지체시간의 평균치와 하천차수의 관계를 半對數紙에 상관시킨 결과 「그림 7」과 같이 거의 직

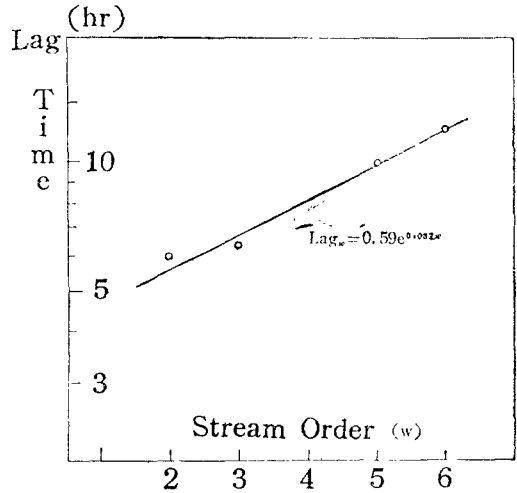


Fig. 7 Relation Between Stream Order Basin Lag Time

선분포를 보이는 것은 특이한 현상이며, 이는 분석이 시행된 流域간에 水文學的 相似性이 있음을 의미하는 것으로 사료되며, 보다 많은 기록으로서 정밀한 分析을 함으로서 합리적인 결과를 얻을 수 있을 것이다.

② 지체시간과 유역면적의 관계

지체시간은 流域特性인 流域面積, 河川長, 流域傾斜, 河川重心長 등의 函數로 표현하고자 하는 연구는 Grey를 비롯 많은 연구(18)(19)(20)(21)가 있으며 流域面積만의 관계로 표시한 관계식도 아주 좋은 결과를 주는 것으로 알려져 있다. 「表 3」의 분석결과 $\text{Lag} = 4.8A_b^{0.13}$ 의 관계식이 유도되었다. 「그림 8」 이는 지수가 0.3~0.46의 범위를 가진다는 Nash(20)와 Boyd(19)의 연구와 조금 차이를 보인다.

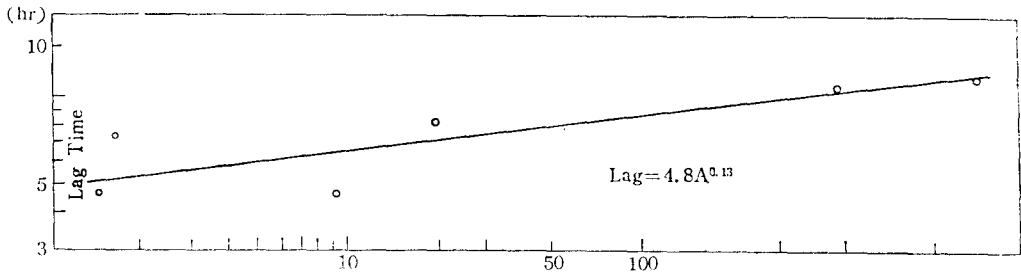


Fig. 8 Relation Between Basin Lag Time and Basin area

V. 結 論

1. 河川의 次數개념에 의한 地形의 3大法則을 線 量 및 소하천에 적용해 본 결과 일정한 規則性을 가 지고 발달되어 있음을 알 수 있었다.

2. 다른 水系의 소하천에 대한 河川水路의 累加 延長과 流域面積이 指數函數관계로 성립된을 알았 으며, 이는 同一水系의 分析 결과와 비슷하다.

3. 지체시간은 대수정규분포를 이룬다.

4. 다른 水系의 지체시간과 하천차수가 아주 높은 상관성을 보였으며, 이는 分析이 시행된 유역간에 水文學의 相似性이 있음을 의미하는 것으로 사료되 며, 미 관측 유역의 유출해석에 중요한 수단을 제 공할 것으로 기대된다.

5. 分析이 시행된 소하천이 형태학적 법칙을 만 족함으로써 계속 연구하고자하는 수문응답 모델 鑿성 의 기본 자료로 적용이 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- Horton, R. E. "Erosional development of stream and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology," Bull. Geol. Soc. of Amer. Vol. 56, 1945, pp. 275-370.
- Strahler, A. N. "Quantitative geomorphology of drainage basins and Channel Network" Handbook of Applied Hydrology, Sec. 4-11, Edited by V. T. Chow, 1964.
- Shreve R. L. "Statistical law of Stream Number" Journal of Geo, Vol. 74. No. 1, 1966, pp. 17-37.
- Smart, J. S. "Statistical properties of stream length" W. R. R. Vol. 4. No. 5. 1968, pp. 1001 ~1014.
- Leopold, L. B. and Maddock. "The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications," Geol. Suwey. U.S. professional paper, No. 250, 1953.
- Stall, J. B. and C. T. "Hydraulic geometry of 12 selected stream system of the United States" Res. Rept. No. 32. W. R. Center, univ. of Illinois, 1970.
- Morrisawa, M. "Accuracy of quantitative geomorphology to stream flow in representative watershed of the appa. plateau province" Tech. Dept. 20, Columbia univ. 1959.
- I. R. Itrube et al "The Geomorphologic structure of Hydrologic Response," W. R. R. 1979, vol. 15 No. 6. 1409-1420.
- V. K. Gupta et al "A representation of an instantaneous unit Hydrograph from Geomorphology," W. R. R. Vol. 16. No. 5. 1980, pp. 855-865.
- 최영박 "낙동강 수계의 지형인자와 비유량에 관한연구" 대한토목학회 창립 20주년 기념논문집 1972, pp. 136-147.
- 윤용남 "한강수계의 하천형태학적 특성과 비토 유량과의 상관성" 대한토목학회지, 21권 1호, 1973.
- 안상진 "유역의 하천형태학적 특성인자와 유출 및 수리기간의 상관성" 공학박사 학위논문 1980. 7.
- 건설부 "하천유역조사 보고서" 1974.
- 한강홍수통제소 "한강홍수 예경보 유출 및 상수

- 분석보고서” 1980—81.
15. 건설부 “IHP 국제 수문조사 보고서” (1976—1981).
 16. 농업진흥공사 “受水量公式 보완 시험사업조사 보고서” (1972—75)
 17. Schumm, S. A. “River Morphology,, John wiley Book Co. 1972.
 18. Grey O.M. “Interrelationships_of Watershed Characteristics,, Jour. Geophysics Res. vol.66. No.4. 1961, pp.1251—1223.
 19. M. J. Boyd. “A storage routing Model relating Drainage basin Hydrology & Geomorphology,, 1978. W.R.R. vol.14, No.5, pp. 921—930.
 20. Nash, J.E. “The form of the instantaneous unit Hydrograph” Hyd. Research station, 1957, pp.114—141.
 21. 이순혁 “한국 주요하천수계의 소유역에 대한 순간단위도 유도에 관한 연구” 1977. 한국 농공학회지. 19권 1호 (ph. D), 1—27.