

PE11) 한국 산악 소유역을 위한 지형상사 특성에 기초한
수정 지형수문단위도 개발 연구
- 지형 상사 및 프랙탈 특성 분석 -

김홍태*, 송시훈, 강두기¹, 이영화²

국립환경과학원 수질총량관리센터, ¹부산대학교 토목공학과 대
학원, ²대구의대의대학교 건설/건축디자인학부

1. 서 론

한국 산지 하천의 강우-유출 연구는 기상 현상의 비선형성 및 복잡성, 지역적인 특성에 따르는 국지적 성향, 급경사지의 수문학적인 유출 현상의 동역학적 복잡성 등의 원인으로 인하여 우리나라에서는 제한적으로 수행되어 왔다. 기존 산악지역의 지형 특성에 따른 유출 특성 분석 적용 연구가 미흡한 현실에 이를 해결하기 위한 연구로서 GIS기법을 이용한 지형 특성 자료의 분석 기법의 적용과 산악지역의 지형상사 및 프랙탈 분석을 통한 특성분석이 필요하다.

지형학적 상사성과 프랙탈 분석을 통한 한국 산악지역의 특성을 규명하기 위한 시도는 부족한 상태이므로 한국 산악지역의 다양한 지형자료를 수집하고 지형상사 및 프랙탈 분석을 통해 한국 산악지형의 일반적인 지형특성을 규명하고자 한다.

2. 대상유역 개황 및 지형분석

2.1. 대상유역의 개황

대상 유역은 모두 우리나라의 국립공원 및 각 지자체의 주요 관광지로 유역의 최상류에 위치하며 유역경사 자체가 매우 급해 빠른 유출 특성 나타내는 지역들이다. 다음 <Fig. 1>에 각 대상유역의 대략적인 위치를 원으로 표시하였으며 원 안의 숫자는 대상유역의 유역 및 산지명 또는 행정구역상의 위치를 나타내는 구분기호로 <Table 1>에 상세히 정리하였다. 또한 <Table 2>에 대상유역의 실제 현장조사 및 GIS 이용 분석 자료 구축 사례를 남천 유역에 대해 정리하였다.

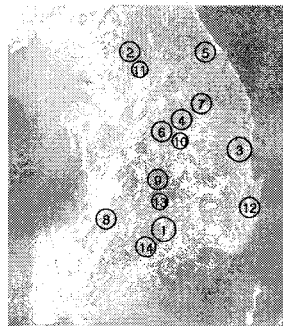
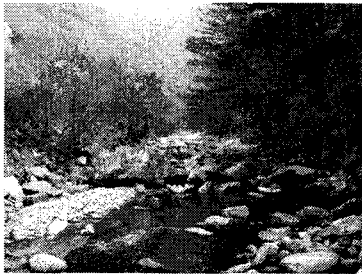
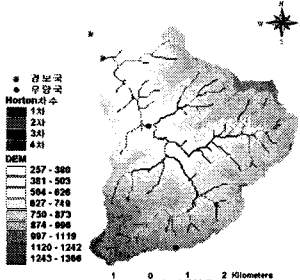


Fig. 1. 대상유역 위치도.

Table 1. 대상구역의 유역특성자료 및 GCUH매개변수(임계점=100)

유역명	일련번호	유역명	산지명	유역면적 A_{Ω} (km^2)	유로연장 L (km)	하천평균하폭 b_0 (m)	하도평균경사 S_{ρ} (m/m)	최고차하도연장 L_{ρ} (km)	분기비 R_B	연장비 R_L	면적비 R_A	조도계수 n
1	1-1	대원사	지리산	34.600	14.989	27	0.099	8.880	4.450	2.790	3.390	0.055
	1-2	덕천강1	지리산	21.810	6.564	19	0.030	2.530	4.010	1.890	4.660	0.055
	1-3	덕천강2	지리산	71.394	20.412	51	0.024	3.420	3.980	2.050	4.500	0.040
	1-4	덕천강3	지리산	103.562	23.070	66	0.037	8.060	4.290	2.260	4.870	0.040
	1-5	덕천강4	지리산	33.383	13.019	27	0.079	6.570	4.920	2.780	3.870	0.055
	1-6	덕천강5	지리산	103.773	23.603	60	0.044	10.230	4.270	2.330	4.820	0.045
	1-7	청암	지리산	40.198	13.969	31	0.078	13.100	4.980	2.930	3.780	0.055
	1-8	화개1	지리산	21.318	8.707	19	0.098	2.170	4.310	2.050	3.060	0.055
	1-9	화개2	지리산	113.374	22.153	58	0.055	13.640	4.230	2.370	4.820	0.038
	1-10	문수사	지리산	22.520	10.824	20	0.129	4.860	4.210	2.490	3.130	0.055
	1-11	뱀사골1	지리산	43.692	14.778	35	0.089	10.540	4.760	2.980	3.900	0.055
	1-12	뱀사골2	지리산	100.388	22.690	64	0.077	7.920	4.130	2.270	4.790	0.040
	1-13	삼정·백무1	지리산	23.147	7.064	20	0.096	3.150	3.960	1.950	4.700	0.055
	1-14	삼정·백무2	지리산	21.677	9.949	19	0.131	4.830	4.070	2.300	4.910	0.055
	1-15	덕천강6	산청군	30.318	12.746	27	0.124	4.531	4.335	2.226	3.027	0.078
	1-16	내원사	산청군	26.847	12.836	23	0.133	7.431	4.330	2.655	3.111	0.068
	1-17	중산리	산청군	17.782	7.593	43	0.129	1.224	3.882	1.673	4.523	0.083
	1-18	거림	산청군	30.218	10.475	34	0.114	4.291	4.266	2.257	4.990	0.068
2	2-1	가평천	가평군	103.774	20.496	66	0.100	12.159	3.931	2.182	4.412	0.080
	2-2	미호천	진천군	64.623	39.464	46	0.015	7.414	3.465	1.736	3.942	0.064
3	3	주왕	주왕산	16.738	7.445	14	0.147	1.648	3.728	1.685	4.336	0.068
4	4	용하	월악산	39.928	10.722	18	0.081	7.478	4.789	2.708	3.646	0.068
5	5-1	소금강1	오대산	24.871	8.800	24	0.112	3.164	4.487	2.091	3.201	0.078
	5-2	소금강2	오대산	30.647	11.797	24	0.060	3.780	4.991	2.503	3.785	0.065
6	6	쌍곡	속리산	27.506	8.748	17	0.061	4.579	4.277	2.146	4.906	0.073
7	7	남천	소백산	22.959	9.528	13	0.118	4.064	3.965	2.232	4.584	0.072
8	8	남창	내장산	12.411	6.302	16	0.056	1.991	3.031	1.847	3.733	0.068
9	9-1	안성	덕유산	12.299	3.464	15	0.094	1.863	3.205	1.591	3.712	0.073
	9-2	구천	덕유산	20.991	10.312	18	0.085	1.999	4.184	1.920	4.998	0.075
	9-3	남덕유산	남덕유산	21.090	7.431	17	0.085	4.873	3.984	2.375	4.655	0.058
10	10	서재	문경시	9.901	3.467	13	0.045	1.062	3.157	1.605	3.833	0.053
11	11-1	장흥	양주군	33.830	11.684	28	0.157	8.295	4.639	2.816	3.449	0.068
	11-2	단월	양평군	17.800	8.567	19	0.075	2.583	3.704	1.939	4.392	0.073
	11-3	용문	양평군	71.953	24.697	31	0.181	2.870	4.017	1.906	4.504	0.063
	11-4	서종	양평군	13.222	3.630	23	0.108	2.368	3.669	1.858	4.245	0.075
	11-5	옥천	양평군	19.773	8.887	21	0.087	4.179	3.774	2.275	4.518	0.068
12	12-1	배내골	울주군	13.647	6.684	14	0.053	2.997	3.846	1.860	4.407	0.063
	12-2	석남	울주군	18.469	6.978	14	0.047	2.246	3.793	1.731	4.381	0.068
13	13-1	부전	함양군	13.381	7.486	12	0.066	3.267	3.868	2.210	4.473	0.068
	13-2	남강	함양군	162.949	28.807	46	0.040	13.946	4.642	2.351	3.221	0.072
	13-3	용추	함양군	29.038	10.198	20	0.116	7.666	4.184	2.607	4.962	0.063
14	14-1	동곡	광양군	20.969	8.080	22	0.087	4.106	3.810	2.206	4.445	0.079
	14-2	어치	광양군	19.714	9.796	20	0.074	2.715	3.843	2.355	4.743	0.078
최소값				9.901	3.464	12	0.015	1.062	3.031	1.591	3.027	0.038
최대값				162.949	39.464	66	0.181	13.946	4.991	2.980	4.998	0.083
평균				39.593	12.533	28	0.086	5.365	4.102	2.209	4.194	0.063
표준편차				31.897	5.893	8	0.037	2.889	0.502	0.347	0.540	0.006

Table 2. 대상유역의 현장조사 및 GIS 이용 분석 자료

유역명	충청북도 단양군 영춘면 남천리								
분석 항목	유역면적 (A_D, km^2)	유로연장 (L, km)	평균하폭 (b_p, m)	평균경사 ($S_D, m/m$)	최고차 하도연장 (L_D, km)	분기비 (R_B)	연장비 (R_L)	면적비 (R_A)	조도계수 (n)
분석결과	22.959	9.528	13	0.118	4.064	3.965	2.232	4.584	0.072
현장사진					Horton 차수도				

2.2. 유역 및 하천 특성분석

GIS 작업을 통해 기 구축된 한국 산악지역의 대표적인 대상유역인 9~160km² 크기의 유역에 대해 GCUH 매개변수인 하천 평균하폭, 최고차하도 평균경사, 최고차하도 연장, 분기비, 연장비, 면적비, 조도계수와 유역특성자료인 유역면적, 유로연장을 <Table 1>과 같이 유역별로 각각 정리하였다. 이들은 하도망 형성시 30×30m 해상도의 DEM을 이용해 하도형성의 임계점(threshold) 픽셀수를 100개로 고정했을 때의 산정 결과들로 한국 산악지역의 Horton 차수비 특성을 반영하는 결과들이다. 특히 하천 평균하폭은 실제 현장조사를 통해 산정한 결과로 한국 산악지역 하천의 평균하폭 특성을 잘 나타낸다.

3. 결론 및 고찰

유역면적 50km² 미만인 경우 단일변수 계산에서 연장비의 유로연장과의 상관도와 다중변수 계산에서 연장비의 유역면적, 유로연장과의 상관도는 별 차이가 없었다. 단일변수 계산에서 면적비의 유역면적과의 상관도와 다중변수 계산에서 면적비의 유역면적, 유로연장과의 상관도 역시 거의 차이가 없었다. 다음으로 유역면적 50km² 이상인 경우 단일변수 계산에서 연장비와 유역면적과의 상관도와 다중변수 계산에서 연장비와 지형변수 유역면적, 유로연장과의 상관도는 별 차이가 없었다.

여기서, 상관도가 0.8 이상인 것을 유의한 것으로 본다면 단일변수에서 0.85 이상의 상관도를 보였고 다중변수는 단일 변수의 상관도와 거의 같으므로 Horton차수비의 산정 절차의 간소화를 고려해서 단일변수만으로 Horton 차수비의 최적상관식을 산정하도록 하였다.

상관도가 가장 큰 단일변수 상관식을 선정하여 <Table 3>에 정리하였고, 선정된 상관식 결과를 <Fig. 2>와 같이 도시하였다.

Table 3. Horton차수비와 지형인자의 최적상관식 산정결과

입계유역면적	지형인자	상관식	상관도
50km ² 미만	$R_L = f(L)$	$R_L = 0.668L^{0.538}$	0.8697
	$R_A = f(A)$	$R_A = 1.802A^{0.314}$	0.9318
	$R_B = f(A)$	$R_B = 1.540A^{0.312}$	0.8533
50km ² 이상	$R_L = f(A)$	$R_L = 0.495A^{0.322}$	0.8661
	$R_A = f(A)$	$R_A = 1.578A^{0.236}$	0.8519
	$R_B = f(A)$	$R_B = 1.387A^{0.237}$	0.8533

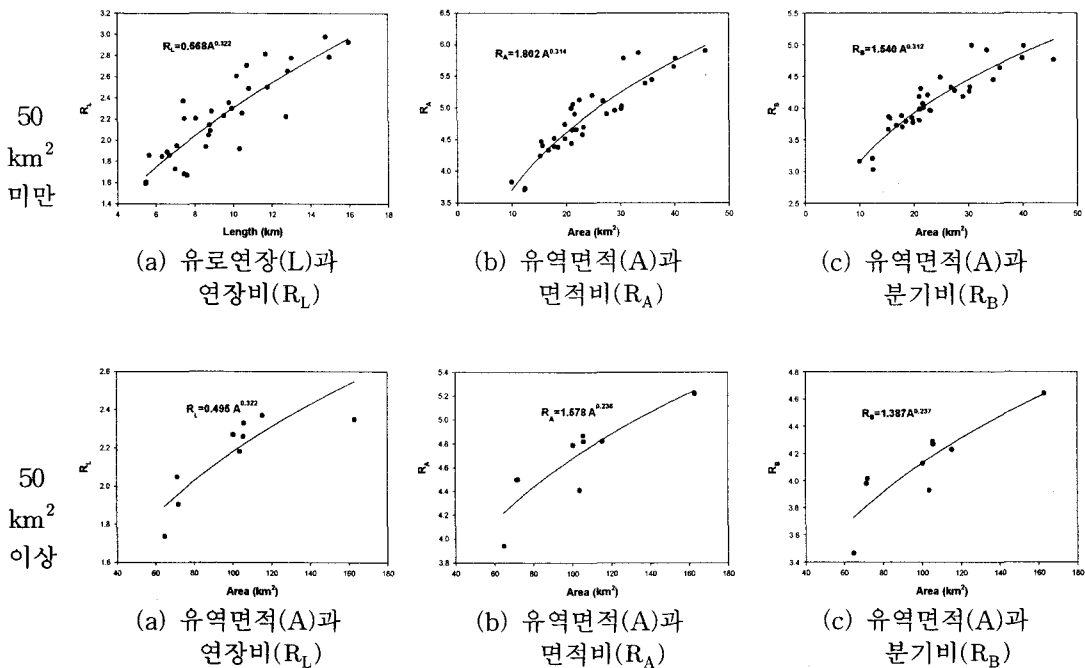


Fig. 2. Horton차수비와 지형인자의 최적상관식 결과.

한국 산악지역을 대상유역으로 D.J Schuller 등(2001)의 연구에서 사용된 분석기법을 이용한 본 연구의 프랙탈 분석 결과 기존의 연구사례와 비교하여 <Table 4>에 나타내었다. 하천 프랙탈의 경우 Feder(1988)의 연구(d3)에서 프랙탈 평균값 1.16과 비슷한 결과이고 여러 연구에서 제안된 1.14와 거의 같은 값이다. d4는 1.711~1.858의 분포와 표준편차 0.036으로 평균값 1.798이다. 이것은 Rosso 등(1991)(d4)의 평균값 1.04와 차이를 보이고 1.14와도 다소 차이를 보였다. 하천망 프랙탈의 경우 본 연구 결과의 평균값들은 D3은 1.73, D4는 1.76, D5(1.14)는 1.94, D6(1.14)는 1.96으로 거의 비슷한 결과를 보였다. 그러나 D5(d4)는 대상유역에서는 3.358이고 D.J Schuller 등(2001)의 연구결과에서는 1.8로 상당한 차이가 났다.

이것은 하천 프랙탈에서 신뢰하기 힘든 d4가 계산에 포함되면서 D5(d4) 역시 신뢰하기 힘든 결과로 산정되었다.

따라서 한국 산악지역의 프랙탈 분석 결과는 d4 차수식을 포함한 결과를 제외하곤 기존의 D.J Schuller 등(2001)의 연구결과와 잘 일치하므로 한국 산악유역의 경우 일정한 프랙탈 특성을 나타낸다고 할 수 있다.

Table 4. 한국 산악지역의 프랙탈 분석 결과

구분		본 연구 결과		D.J Schuller 등(2001)의 연구 결과	
		평균	표준편차	평균	표준편차
하천 프랙탈	d1	1.326	0.000	1.18	0.00
	d3	1.101	0.177	1.16	0.058
	d4	1.798	0.036	1.04	0.038
하천망 프랙탈	D1	3.566	0.000	1.54	0.072
	D3	1.867	0.324	1.73	0.088
	D4	1.798	0.036	1.76	0.145
	D5(d3)	2.000	0.000	2.00	0.00
	D5(d4)	3.358	0.582	1.80	0.111
	D5(1.14)	2.129	0.370	1.94	0.063
	D6(d3)	2.089	0.097	2.0	0.00
D6(1.14)	2.171	0.377	1.96	0.048	

참 고 문 헌

- 신현석, 김홍태, 박무종, 2004, GIUH 매개변수와 지형특성인자의 상관성 검토에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 24(1)B호, 55-62.
- 조홍제, 이상배, 1990, 유역응답의 수문학적 상사성 해석에 관한 연구(I), 한국수자원학회지, 23(4), 421-434.
- 홍일표, 고재웅, 1999, 하천의 프랙탈 특성을 고려한 지형학적 순간단위도의 개발(I), 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 32(5), 565-577.
- Carlos E. Puente, Pablo A. Castillo, 1996, On the fractal structure of networks and divides within a watershed, Journal of Hydrology, 187, 173-181.
- D.J. Schuller, A. R. Rao, G. D. Jeong, 2001, Fractal characteristics of dense stream networks, Journal of Hydrology, 243, 1-16.
- David G. Tarboton, 1996, Fractal river networks, Horton's laws and Tokunaga cyclicity, Journal of Hydrology, 187, 105-117.
- David G. Tarboton, Rafael L. Bras, Ignacio Rodriguez-Iturbe, 1988, The fractal nature of river networks, Water Resources Research, 24(8), 1317-1322.