

유역평균경사 산출방법의 비교연구

○ 연구방*
조효섭*

1. 서론

유역평균경사는 유역내 표면경사를 평균한 것으로서 유출, 토사의 침식 등과 관계가 깊은 인자이다. 특히 미계측 유역에 대한 강우-유출모형을 구축하는 SCS 방법 등에서는 지체시간을 결정하는 중요한 인자로서 유역평균경사를 사용하고 있다. 이와 같이 유역평균경사는 유역의 강우-유출모형에 중요한 영향을 미치는 인자임에도 불구하고 산출방법과 지도축척에 따라서 그 값들이 상이하게 됨으로 현재 우리나라의 중·소하천에 대한 하천정비기본계획 등에서 다루어지는 유역 평균경사값들이 정확한 방법에 의해서 산출되고 있는지 확인하기가 어렵다.

유역평균경사를 구하는 방법은 Horton(1926)이 제시한 교점법과 등고선 연장법, 측고 적분법(Hypsometric integral)의 응용 등이 있고, 최근에 개발된 GIS에서 TIN(Triangulated Irregular Network), GRID을 이용하는 방법이 있다. 현재 대부분의 수자원을 다루는 실무 부서에서는 1926년 Horton이 제시한 교점법을 사용하고 있으며, 이 방법에는 수평·수직교점을 나누어서 하는 방법과 합쳐서하는 방법의 두가지가 있으며, 지도 위에서 등고선과 격자선을 표시하고 헤아려야 하므로 많은 인력과 시간이 소요되고 두 방법에 따라서 그 정확성에 차이가 날 수가 있다. 또한 등고선 연장법은 전유역내 등고선의 총연장을 구하여 유역경사를 구하는 것으로, 길이를 구하기 위하여 구적계로 등고선을 따라서 정확하게 측정해야한다. 측고 적분법을 응용하는 방법은 적당한 등고선 간격별로 면적을 구해야하므로 복잡한 지도의 등고선 상에서 등고선을 따라가며 면적을 구하기가 어려운 작업이다. GIS에서 TIN을 이용하여 유역경사를 구하는 방법은 xy 좌표값과 z의 고도값을 가진 삼각망(Network of triangles)을 이용하여 유역의 평균경사를 구하는 것으로 유역에 대한 DEM(Digital Elevation Model)과 GIS 소프트웨어들을 사용할 수 있다면 앞으로 대부분의 경우에 이 방법을 이용하는 것이 편리할 것이다. 현재 우리나라는 21세기 고도정보화시대를 맞이하여 국가지리정보시스템(NGIS) 구축사업을 추진 중으로 우리나라 대부분의 국토에 대하여 1/1,000, 1/5,000 그리고 1/25,000의 세가지 축척에 대한 디지털화된 지도정보를 구축하고 있으며 일부 완성된 것에 대하여 상업적인 판매를 하고 있다.

따라서 본 연구에서는 Horton이 제시한 수평·수직교점법, 교점법 그리고 등고선 연장법, GIS에서 TIN을 사용한 내개의 방법과 축척을 다르게 하여 총 6개의 방법으로 유역의 평균경사를 산출하고 비교 고찰을 함으로서 현재 우리나라에서 사용중인 유역의 평균경사 산출방법을 분석하고, 앞으로 정확하고 간략하게 산출하기 위한 방안을 강구하고자 한다.

* 충청대학 토목공학과 교수

2. 유역평균경사 산출

2.1 대상유역

본 연구의 대상유역은 국제수문개발계획(IIIP)의 3단계 사업('82~'89) 이후 대표시험유역으로 선정되어 관리되고 있는 보청천 유역의 일부분을 선택하였다. 이 지역은 수문 기상학적 자료의 입수가 용이하고 본 연구와 관련된 자료를 계속하여 사용할 수 있기 때문이다. 유역의 위치는 금강의 상류로서 북측으로는 한강지류인 달천유역과 접하고, 동측으로는 낙동강유역과 분수령을 이루고 있으며, 서측으로는 대청호가 자리하고 있다. 본 유역은 해발 500~1,000m 정도의 능선으로 분수령을 이루고 있어 전반적으로 지세가 험준한 편이나 서측으로는 다소 완만하다. 또한 하천 연변을 따라서 농경지가 잘 발달하였으나 그 이외 지역은 산지로 형성되었다.

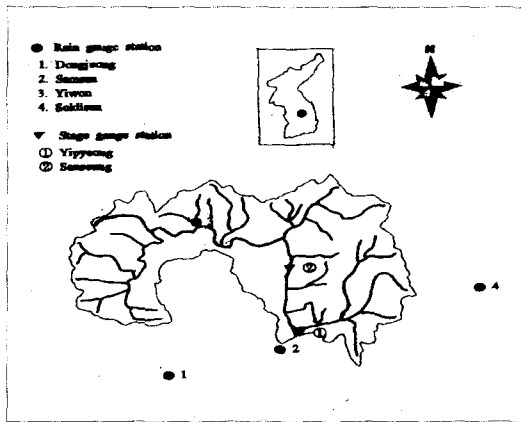


그림 1. 보청천 유역도

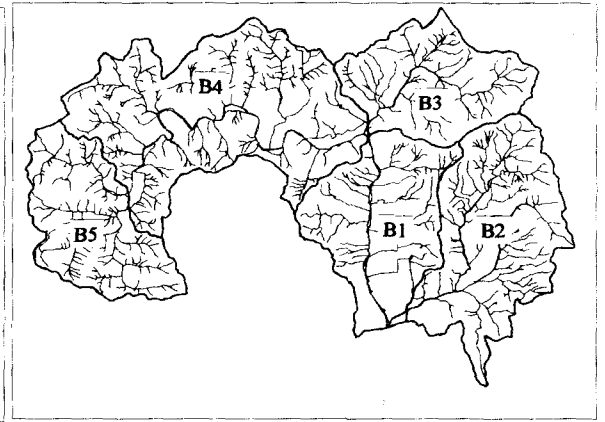


그림 2. 소 유역 분할도

2.2 Horton의 방법(수평·수직교점법)

이 방법은 연구대상 유역의 지형도 위에 투명한 격자를 겹치는 것이다. 고도차 D 의 등고선과 투명한 모눈종이의 격자가 만나는 교점을 방한지 상에 표시하고, 수평, 수직격자선에 의한 등고선과 만나는 교점의 총수(N_h , N_v)와 수평, 수직격자선 선분길이($\sum l_h$, $\sum l_v$)를 구한다. 지표면 경사의 결정은 다음과 같은 식을 이용한다.

$$S = \frac{S_H + S_V}{2} \quad (1)$$

여기서 S : 유역평균경사, D : 등고선간의 고도차

$$S_h: \text{수평평균경사} (S_h = D \frac{\sec \theta}{\sum l_h} N_h), \quad S_v: \text{수직평균경사} (S_v = D \frac{\sec \theta}{\sum l_v} N_v)$$

N_h , N_v : 수평, 수직격자선에 의한 등고선과 만나는 교점의 총수

$\sum l_h$, $\sum l_v$: 수평, 수직격자선 선분길이

θ : 등고선의 법선과 격자선이 이루는 각으로 측정하기가 곤란하기 때문에 보통 무시된다.

본 대상구역의 축척 1/25000, 1/50,000의 지형도에 대하여 Horton이 제시한 수평·수직교점법을 적용한 결과는 다음 Table 1, 2와 같다. 그림 3, 4는 B3 구역의 축척 1/25,000과 1/50,000에 대한 수평·수직교점법으로 구역평균경사의 산출과정을 표시한다.

Table 1. 수평·수직교점법에 의한 평균경사의 산출(1/25000)

	D	$\sum I_h$	N_h	S_h	$\sum I_v$	N_v	S_v	S
B1	50	37250	97	0.13	35250	118	0.167	0.148
B2	50	46400	185	0.199	45400	215	0.237	0.218
B3	50	41650	202	0.242	40175	216	0.269	0.255
B4	50	82275	417	0.253	91900	461	0.25	0.251
B5	50	37957	204	0.268	36800	199	0.27	0.269

Table 2. 수평·수직교점법에 의한 평균경사의 산출(1/50,000)

	D	$\sum I_h$	N_h	S_h	$\sum I_v$	N_v	S_v	S
B1	100	10250	205	0.224	15950	319	0.188	0.206
B2	100	18900	378	0.302	22200	444	0.194	0.248
B3	100	19600	392	0.327	20000	400	0.240	0.284
B4	100	33100	662	0.332	42950	859	0.449	0.390
B5	100	11700	234	0.342	11500	230	0.243	0.293

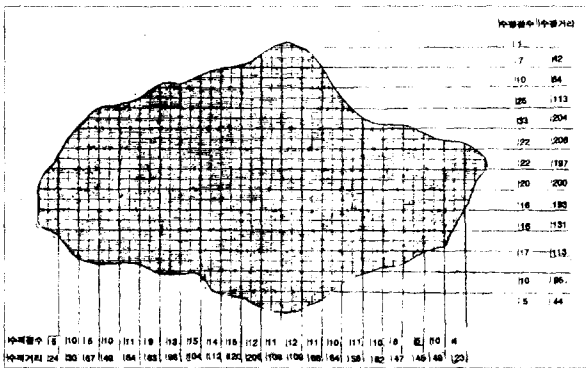


그림 3 수평·수직 교점법에 의한 구역의 평균경사 산출(B3 구역: 1/25,000)

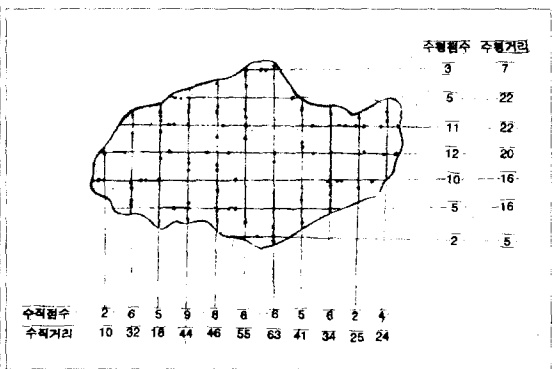


그림 4 수평·수직 교점법에 의한 구역의 평균경사 산출(B3 구역: 1/50,000)

2.3 Horton의 방법(교점법)

이 방법도 수평·수직교점법과 비슷한 방법으로 연구대상 구역의 지형도 위에 투명한 격자를 겹치는 것이다. 고도차 D 의 등고선과 투명한 모눈종이의 격자가 만나는 교점을 방안지 상에 표시하고, 다만 수평·수직 격자선이 등고선과 만나는 교점의 총수(N)와 수평·수직격자 선분의 총길이($\sum l$)를 구한다. 지표면 경사의 결정은 다음과 같은 식을 이용한다.

$$S = \frac{\pi}{2} \frac{DN}{\sum l} \quad (2)$$

여기서 D : 등고선간의 고도차, $\sum l$: 수평과 수직 격자선 선분의 총길이
 N' : 수평 및 수직 격자선에 의한 등고선과 만나는 교점의 총수

본 대상구역의 축척 1/25000, 1/50,000의 지형도에 대하여 Horton이 제시한 교점법을 적용한 결과는 다음 Table 3, 4와 같다. 본 연구에서는 수평·수직교점법에서 구한 동일한 자료들을 재분류하여 사용하였다.

Table 3. 교점법에 의한 산출(1/25000)

	D	$\sum l$	N'	S
B1	50	72500	215	0.234
B2	50	91800	400	0.342
B3	50	81825	418	0.401
B4	50	174175	878	0.396
B5	50	74775	403	0.423

Table 4. 교점법에 의한 산출(1/50,000)

	D	$\sum l$	N'	S
B1	100	26200	53	0.318
B2	100	41100	100	0.382
B3	100	39600	112	0.444
B4	100	76050	303	0.626
B5	100	23200	68	0.460

2.4 등고선 연장법

구역내 등고선의 총길이를 구역면적(A)로 나누면 등고선 평균간격이 얻어지고, 이 값으로 등고선간의 고도차(D)를 나누면 구역의 평균경사를 구할 수 있다. 일반 지형도 상에서 이 등고선 연장법으로 평균경사를 구하기 위하여 적당한 등고선을 설정하고 구격기로서 등고선의 길이를 측정해야하는데 구역이 큰 경우에 이 등고선을 따라서 얼마만큼 정확하게 트래킹하는 것이 정확도를 결정할 것이다. 본 연구에서는 본 대상구역에 대하여 축척 1/5,000으로 구축된 수치고도자료(DEM)를 이용하여 ARC/INFO(UNIX) 상에서 구역별로 전 등고선의 총길이를 구역면적과 함께 간단히 빠른 시간내 정확하게 구할 수 있었다. Table 5는 ARC/INFO를 이용하여 등고선 연장법으로 구한 구역의 평균경사를 표시한다.

$$S = D \frac{\sum l}{A} \quad (3)$$

D : 등고선간의 고도차(m), $\sum l$: 구역내 등고선의 총길이(m), A : 구역 면적(Km^2)

Table 5. 등고선연장법에 의한 평균경사의 산출(1/5,000)

	D	A	$\sum l$	S
B1	5	13.044	603,21.650	0.231
B2	5	16.525	1,195,989.733	0.368
B3	5	11.066	1,012,641.581	0.458
B4	5	24.196	2,383,484.887	0.493
B5	5	10.916	1,132,861.012	0.519

2.5 WMS의 TIN을 이용한 산출

Brigham Young 대학의 공학컴퓨터그래픽 연구실(Engineering Computer Graphics Laboratory: ECGL)과 미 육군공병단(U.S. Army Corps of Engineers)에서 공동으로 개발한 수문 모델링 프로그램인 WMS의 TIN을 이용하여 구역의 평균값을 구하였다. 공간상에서 나타나는 연속적인 기복의 변화를 수치적으로 표현하는 방법을 수치고도자료(DEM)이라 하며, 가장 보편적인 방법인 격자방식으로 저장되어 활용된다. 복잡한 지형에 대하여 세밀히 수치고도자료를 표시하

기 위하여 세점의 위치를 삼각형으로 연결하여 전체 지형을 표시하는 방식이다. TIN으로 이루어진 각각의 삼각형 내에서 경사의 크기 및 방향이 결정된다. TIN 방식을 격자방식(GRID)과 비교할 때 장점은 비교적 적은 수의 고도자료를 이용하여 개략적으로 지형의 형태를 나타낼 수 있다는 것이다. Table 6은 WMS의 TIN을 이용하여 유역의 평균값을 산출한 것이다.

Table 6. TIN을 이용한 평균경사의 산출(1/5,000)

	B1	B2	B3	B4	B5
A	13.044	16.525	11.066	24.196	10.916
S	0.150	0.248	0.270	0.301	0.287

3. 유역평균경사 산출방법의 비교고찰

Horton이 제시한 수평·수직교점법, 교점법 그리고 등고선 연장법, GIS에서 TIN을 사용한 네개 방법과 축척을 다르게 하여 총 6개 방법으로 유역의 평균경사를 산출하였으며, 이 산출된 결과를 Table 7에 정리하였고 이를 그림 5에 도시하였다. Table 7과 그림 5에서 볼 수 있는 바와 같이 평균경사값은 많은 차이를 보이고 있다. B1 유역에서 A와 F 방법의 값이 0.148과 0.150로서 거의 일치하며, 다음으로 B 방법의 0.206 그리고 C와 E 방법의 값이 0.233과 0.231로서 거의 일치하고, D 방법은 0.317로서 가장 작은 값인 A 방법의 0.148과는 차이가 0.169로서 214 %의 비율을 보이고 있다. 이와 같은 방법으로 B2 유역은 175 %, B3 유역은 179 %, B4 유역은 195 %, B5 유역은 193 %의 비율을 보이고 있다. 대체적으로 수평·수직교점법과 TIN에 의하여 구한 경사값들이 비슷하게 일치하며 낮은 값을 보이고 있고, 교점법, 등고선 연장법으로 구한 경사값들이 높게 나타나고 있다. 특히 교점법의 A,B,C,D는 동일한 자료를 사용했음에도 수평·수직교점법에서의 평균경사값이 교점법에 비해서 낮고, 또한 축척 1/25,000은 1/50,000에서의 평균경사값에 비해서 낮음을 알 수 있다.

Table 7. 유역평균경사의 산출

계산방법	수평·수직교점법		교점법		등고선연장법	WMS	큰 평균값과 작은 평균값과의 비율(%)
	1/25,000	1/50,000	1/25,000	1/50,000	1/5,000	1/5,000	
유역	A	B	C	D	E	F	
방법구분	A	B	C	D	E	F	
B1	0.148	0.206	0.233	0.317	0.231	0.150	214
B2	0.218	0.248	0.342	0.382	0.367	0.248	175
B3	0.255	0.284	0.401	0.444	0.457	0.270	179
B4	0.252	0.39	0.396	0.395	0.492	0.301	195
B5	0.269	0.293	0.423	0.46	0.519	0.287	193

4. 결론

본 연구에서는 Horton이 제시한 수평·수직교점법, 교점법 그리고 등고선 연장법, GIS에서 TIN을 사용한 네개 방법과 축척을 다르게 하여 총 6개 방법으로 유역의 평균경사를 산출하였다. 산출된 평균경사값들은 많은 차이를 보이고 있으며, 큰 평균값과 작은 평균값과의 비율(%)이 175%~214%에 까지 이른다. 대체적으로 수평·수직교점법과 TIN에 의하여 구한 평균값들이 비슷하게 일치하며 낮은 값을 보이고 있고, 교점법, 등고선 연장법으로 구한 평균값들이 높은 평균값들을 보이고 있다.

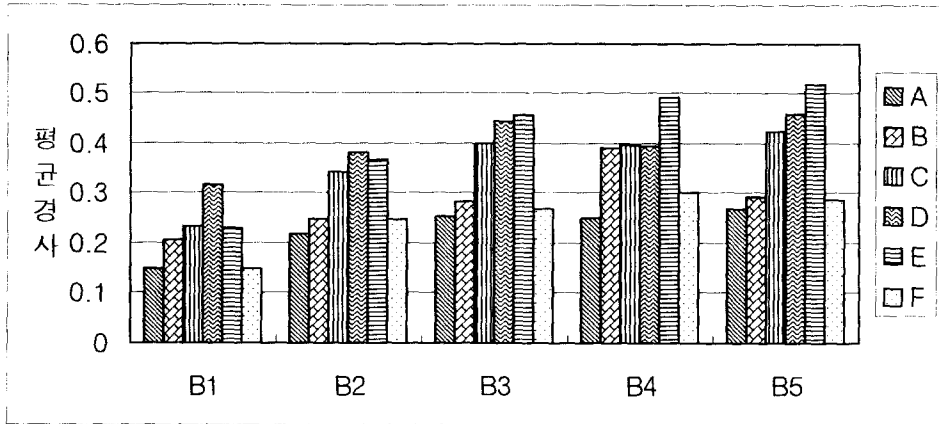


그림 5. 유역평균경사 산출방법의 비교

평균경사 산출방법 중에서 실무 부서에서 대부분 사용하고 있는 Horton이 제시한 교점법은 지도 위에서 등고선과 격자선을 표시하고 교점수와 거리를 헤아려야 하므로 많은 인력과 시간이 소요되고 방법에 따라서 그 정확성에 차이가 난다. 등고선 연장법은 유역내 등고선의 총연장을 구하여 유역경사를 구하는 중요한자로 사용해야하므로, 길이를 구하는 구적계로 등고선을 따라서 정확하게 측정하는 것이 이 방법의 정확도를 결정지게 된다. 이 방법은 GIS의 DEM을 이용하여 등고선의 총연장을 간편하게 구할 수 있다. GIS에서 TIN을 이용하여 유역경사를 구하는 방법은 유역에 대한 DEM과 GIS 소프트웨어들을 사용할 수 있다면 평균경사를 간편하게 구할 수 있으므로, 앞으로 이 방법을 이용하는 것이 편리할 것이다.

유역평균경사는 유역의 강우-유출, 하천기본계획 등에 중요한 영향을 미치는 인자임에도 불구하고 산출방법과 지도축척에 따라서 그 값들이 상이하게 됨으로 현재 우리나라의 중·소하천에 대한 하천정비기본계획 등에서 다루어지는 유역 평균경사값들이 정확한 방법에 의해서 산출되고 있는지 확인하기가 어렵다. 앞으로 유역경사와 같은 기본적인 수문지형정보에 대하여 정확하고 간략하게 산출하기 위한 심도있는 연구가 필요하다. 또한 유역평균경사를 어느 누구라도 손쉽게 산출할 수 있으며, 일관성과 고유성을 유지할 수 있는 표준화된 틀을 제공하는 것도 앞으로의 향후 연구과제라고 사료된다.

5. 참고문헌

1. 한국수문학회, 하천시설기준, 1995.
2. 충청북도, 보청천 하천정비기본계획, 1993.
3. 연구방, 조효섭, Distributed rainfall-runoff model using GIS, The 8th '98 GIS Workshop, 캐드랜드, 서울, 1998.
4. Horton, R. E., "Discussion of paper, Flood flow characteristics by C. S. Jarvis, " Trans. ASCE, 89, 1926.
5. Viessman, W. Jr., et al., Introduction to Hydrology, 4th edition, IEP, New York, 1996.