

단 보

지형도상에서의 경사측정기법

Measuring technique of the slope on a topographic map

김석중(Seok Choong Kim)
강필종(Pil Jong Kang)

한국자원연구소
한국자원연구소

요약/Abstract

본 논문에서 다룬 경사의 측정기법은 4종류이다. 면적과 둘레를 이용하는 기법은 매우 편리하나 상당한 오차를 가져올 수 있어 방안지를 사용하는 기법이 널리 사용된다. 특히 이와 유사하게 computer를 통하여 각 교점마다 경사를 표시할 수 있어 다른 자료와 비교가 가능하게 되었다. vector product를 사용하는 기법은 곡면을 직접 삼각형으로 나누어 측정할 수 있으므로 여러가지 용도를 갖고 있으나 지형의 굴곡이 심한 곳에서는 상당한 오차를 나타낸다.

Four techniques are treated. The technique using the area and the perimeter is very easy but considerable error can be made and commonly the technique using grid is used. Particularly, similar technique using computer makes possible to represent the slope at each point of the grid and to compare with other data. The technique using vector product, with which a curved surface can be measured directly by segmenting by triangles, is useful but it represent considerable error where the relief is rugged.

서 언

지표상에 흐르는 물을 연구하는 부문에서, 일정한 집수구역을 갖는 유출구(流出口)에 물이 집수되는 속도나 양을 추정하는데는

지형도상에서 경사를 측정할 필요가 있다.

또한 일정한 지역의 지형을 수량(數量)으로 표현하여 다른 지역의 지형과 비교 연구할 때에도 지형도상에서 그 지형의 경사를 측정한다. 일례로 우리나라의 지체구조별로 각

지체구조가 갖는 지표면의 평균경사를 비교하여 지형학적인 의미를 살펴 볼 수도 있을 것이다.

사면 위에서의 물체는 중력(重力, gravity)에 의하여 사면과 수평면이 이루는 각의 정현(正弦, sine)에 비례하는 가속도를 갖고 여현(餘弦, cosine)에 비례하는 마찰력을 갖는다는 물리학적인 이론에 따라 지표의 경사는 다른 요소들과 함께 침식상이나 퇴적상의 연구에 하나의 중요한 요소가 된다.

본 연구에서는 지금까지 수문학의 영역에서 활용되어온 기법들을 소개하고 일례로 부곡 온천지대의 유역을 통하여 그 장단점을 살펴보았다 아울러 직접적으로 물의 흐름 방향에 따라 개별적인 경사를 측정하는 기법에 대한 원리를 연구했다.

육안관찰

지표상의 경사는 지형도상에서 간단하게 자를 이용하여 등고선 사이의 거리를 측정하므로써 대략적으로 파악할 수도 있으나 이러한 기법을 통하여 한 지표면 공간에 대한 평균적인 경사를 파악하기는 매우 어렵다. 따라서 이는 단순한 육안 관찰에 의한 방법과 큰 차이가 없을 것이다. 이러한 육안 관찰에 의한 기법으로서 파악할 수 있는 사항을 부곡 온천지대를 일례로 들면 다음과 같다.

부곡 온천지대 부근에서는 안산암이 산 정상에 얹혀져있는 것을 볼수 있다. 지형을 자세히 살펴보면 산 정상에 안산암과 진동층 사이에 경사가 급한 부분이 띠모양으로 형성되어 있는데 이는 안산암이 진동층보다 풍화에 강하다는 점등을 짐작할 수 있게 한다. 그러나 이 경우 이러한 결론을 갖기에는 그

정도가 그리 선명하지 않으며 관찰하는 사람에 따라 다른 의견을 가질 수 있다. 따라서 이러한 연구에 정량적인 계산결과를 적용할 수 있으면 더욱 바람직할 것이다.

면적과 둘레

한 집수구역에서 그 경사가 급하다는 것은 비가 왔을 경우 수로에 물이 더욱 빨리 불어나며 또한 강수량에 대한 유출량의 비율이 높기 때문에 표토층으로 물의 침투량이 비교적 적을 것을 예상하게 한다. 그런데 집수구역에서의 강수량과 그 수로에서의 유출량은 모두 숫자로 표시되므로 이에 대응하여 영향을 주는 집수구역의 지형경사 역시 숫자로 표시되어야 상호 비교가 가능할 것이다. 이에 필연적으로 한 수역의 평균경사를 숫자로 표시하는 기법을 생각해야 했다.

경사는 그 정의로부터 높이를 이루는 면적을 밑면적으로 나눈 값으로 생각하여 이를 등고선의 길이(l_i), 등고선간 고도차(D)와 등고선사이의 면적(a)으로 나타낼 수 있다. 즉 한 등고선 사이의 경사(si)는

$$si = \frac{Dl_i}{a}$$

따라서 전체 집수구역의 경사(S)는

$$S = \Sigma \frac{Dl_i}{a}$$

여기서 전체 a 는 전체 면적이므로 구적기(求積器)를 사용하여 구할 수 있으나, 각기의 l_i 는 구할 수 있다고는 하지만 너무 길고 복잡하여 오차가 나기 쉬우므로 이에 대처할

수 있는 길이를 찾아야했다. 이를 위하여 해당
 집수구역의 면적(A)과 둘레(P)가 같은 직사
 각형을 생각하게 되었다. 즉 직사각형의 긴
 변을 L 짧은 변을 ℓ 이라고 하면

$$2(L+\ell) = P$$

$$L\ell = A$$

이를 연립방정식으로 풀어 L을 구하고 전체
 등고선 간격 즉 집수구역의 가장 높은 고도
 로부터 가장 낮은 유출점 고도를 뺀 값(고
 도차 Δ)을 나누어 평균 경사로 정의하였다
 (Roche, 1963). 즉

$$S = \Delta/L$$

예) 부곡온천지대의 집수구역

고도차(Δ) 530m, 면적(A) 8km²,

둘레(P) 12km

해당직사각형의 긴변(L) 4km,

짧은변 2Km

평균 경사(Δ/L) : 0.13

이 기법은 매우 편리하고 대체로 유사한
 결과를 가져오기는 하지만, 중도에 논리의
 비약이 있어 경사와 관계가 비교적 적은 집
 수구역의 둘레가 개입하므로 값이 적게 산
 출되는 경우가 많고 따라서 여러가지 다른
 값을 생각하게 되었다. 또한 이 기법은 분수
 계의 길이 등을 적용해야 하기 때문에 집수
 구역이 아닌 다른 공간에 적용할 때는 주의를
 해야할 것이다.

방안지를 사용하는 기법(Fig. 1)

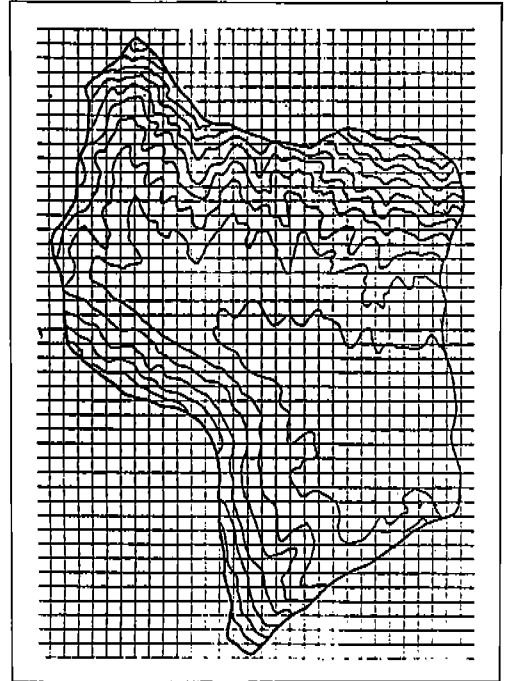


Fig. 1 방안지를 이용한 평균 경사 측정

해당 지형도 위에 투명한 방안지를 올려
 놓고 먼저 구하고자 하는 구역내에 있는 방
 안지 선의 교점을 세어 가로 길이와 세로
 길이를 잰다. 다음 가로 세로 각각의 선과
 등고선의 교점 수를 세어 방안지 각 길이마다
 합해진 높이를 잰다. 이 작업을 통하여 경사의
 두 요소인 밑면의 길이와 높이를 알 수 있다.
 즉 구역내에서

방안지 i번째 가로선의 길이 : H_i

방안지 j번째 세로선의 길이 : V_j

방안지 i번째 가로선과 등고선과의 교점수
 : h_i

방안지 j번째 세로선과 등고선과의 교점수
 : v_j

등고선 간의 고도차 : D

라고 하면 가로선들의 평균경사(S_h)와 세로

선들의 평균경사(S_v)는 각각

$$S_h = \Sigma \frac{h_i D}{H_i}$$

$$S_v = \Sigma \frac{v_j D}{V_j}$$

대체로 ΣH_i 와 ΣV_j 는 같으므로 해당 구역의 평균 경사(S_m)는

$$S_m = \frac{S_v + S_h}{2} = D \frac{\Sigma h_i + \Sigma v_j}{2 \Sigma H_i}$$

- 예) 부곡은천지대의 집수구역
 지형도축적 : 1/25,000
 등고선간의 고도차(D) : 50m
 방안지선의 간격 : 4mm,
 구역내의 방안지 교점수($\Sigma H_i, \Sigma V_j$) : 744,
 가로선들과 등고선들과의 교점수(Σh_i) :
 261,
 세로선들과 등고선들과의 교점수(Σv_j) :
 281,
 가로선 평균 경사(S_h) : 0.175
 세로선 평균 경사(S_v) : 0.189
 평균 경사(S_m) : 0.18

방안지선과 등고선과의 교점을 구할때 주의할 사항은 같은 등고선이 수차례 반복 교차할 경우 이를 적절히 감해야 하는 점이다. 최근에는 전자계산기에 의한 기법의 발달로 방안지 각 교점에 대한 평균경사를 구할 수 있게 되었다. 이러한 방법은 어떠한 공간의 평균경사 뿐만 아니라 그 분포상태까지도 파악할 수 있기 때문에 매우 유익하게 사용할 수 있을 것으로 기대된다(김의홍, 1989 에서 재인용).

vector product를 이용하는 기법 (Fig. 2)

3차원 공간에 3점은 하나의 평면을 이룬다. 달리 4점의 경우에는 한점이, 다른 세점이 만드는 평면 위에 있지 않으면 평면을 이루지 않는다.

모든 곡면은 여러가지 다각형의 평면으로 접근시켜 표현할 수 있고 모든 다각형은 삼각형으로 분할할 수 있다. 다시말해 모든 곡면은 무한히 많은 삼각형의 조합으로 접근시켜 표현할 수 있기 때문에 기본적으로 삼각형의 경사를 측정할 수 있으면 모든 곡면의 경사를 측정할 수 있다.

삼각형의 한 꼭지점에 대한 다른 두 꼭지점의 위치를 vector화해서 그 두 vector의

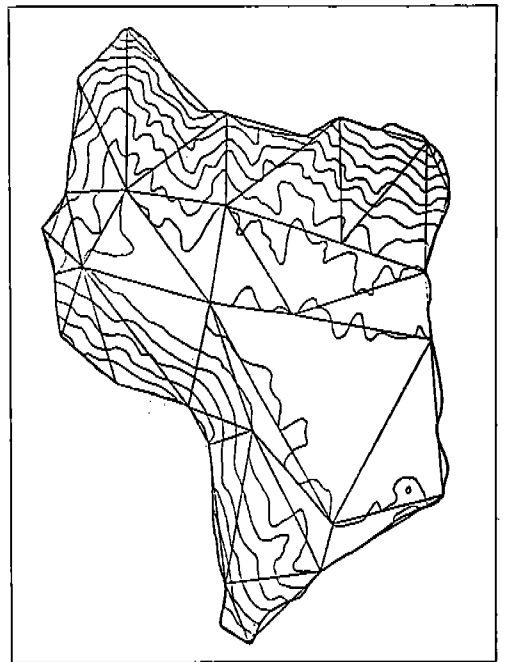


Fig. 2 vector product를 이용한 경사측정

vector product(또는 cross product)를 구하면 이 vector는 다른 두 vector(즉 주어진 삼각형)가 만드는 면에 수직을 이루고 그 삼각형 면적의 2배가 되는 길이를 갖는다(vector product의 성질 : 따라서 이 방법에 의하면 곡면의 표면적을 계산할 수가 있다).

삼각형이 수평면과 이루는 경사는 밑면에 투영된 길이(xy평면의 성분길이)를 vector product의 높이(z성분의 길이)로 나누어 얻는다. 이 면이 측리면이라하면 그 경사 방향은 이 vector product가 xy평면에서 가르키는 방향이 되고 주향은 그 경사 방향과 직각을 이루면 된다(Kim, 1988).

이처럼 원리는 명료하고 간단하나 실제로 vector product를 구하고 그 경사등을 계산하는 과정은 상당히 복잡해서 program이 가능한 계산기를 이용해야 편리하다.

삼각형으로 구획을 분할하는 데는 수치 해석상의 유한요소법과는 달리 꼭지점들이 반드시 일치해야할 필요는 없으나 가능한한 삼각형의 각 면이 곡면에 부합해야할 것이다. 삼각형의 수가 많을수록 정밀해지지만 작업량도 또한 많아진다. 따라서 이 측정은 어떻게 구획을 나누는가에 따라 차이가 생기게 된다.

예) 부곡은천지대의 집수구역
삼각형의 수 : 33개
평균경사 : 0.27

부곡은천지대의 경우 전술한 두 방법에 의해 측정된 평균경사는 각각 0.13, 0.18인데 비하여 이 방법에 의하면 0.27로 나타난 것으로 보아, 기록의 굴곡이 심하여 이 방법이 적당하지 않은 것으로 나타났다.

곡선(谷線, talweg)과 능선(線, ridge) (Fig. 3)

이론적으로는 지형공간에 무수한 곡선과 능선을 설정할 수 있다. 이 경우 곡선과 능선사이에는 사면이 형성된다. 이렇게 치밀하게 만들어진 사면의 경사를 측정한다거나 또는 곡선과 능선의 경사를 측정할 수 있다면 물의 흐름방향에 대하여 가장 완벽한 경사도를 산출할 수가 있을 것이다.

그러나 이 기법을 수작업을 통하여 실행하기에는 많은 노력이 필요하며 그 정확성의

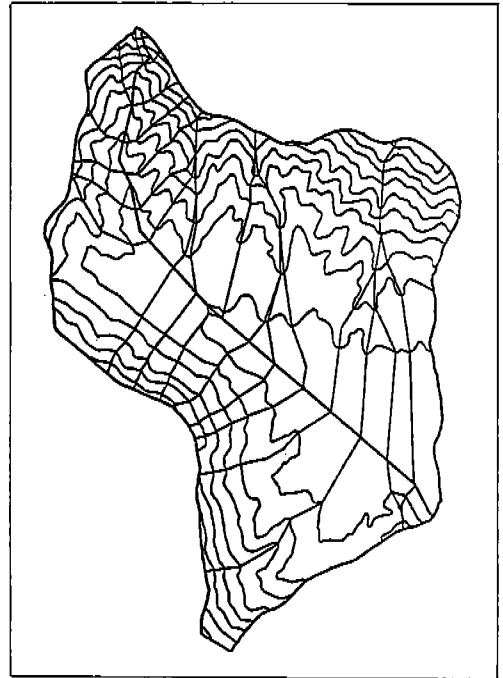


Fig. 3 곡선과 분수계(표시된 등고선간격은 50m이나 10m간격의 등고선도 참조. 수작업을 통하여 제1차 곡선에 대해서만 250m간격으로 분수계를 그림. 실제로 수로와 여기에서의 계곡선과는 어느정도 차이가 있음.)

여부도 의심스럽게 되기 때문에 computer에 의하지 않고는 거의 불가능하다.

Computer의 digitizer를 통해 얻은 두 인접한 등고선 i 와 $i+1$ 을 이루는 점좌표 행렬을 각각 H_i, H_{i+1} 라고 하면, 각기의 H_i 와 H_{i+1} 은 $(x_k, y_k), (x_k, y_k)_{i+1}$ 의 직교 좌표점들로 되어 있다. i 등고선의 한점 (x_i, y_i) 에서, $i+1$ 등고선의 한점 (x_k, y_k) 사이의 거리(l_n)는 $[(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2]^{1/2}$ 로 표시되므로 거리값의 행렬(L)로 나타낼 수 있다. 또한 이 행렬의 원소들 가운데 최대값($\max L_k$)과 최소값($\min L_k$)도 구할 수가 있다. 등고선 i 가 등고선 $i+1$ 보다 고도가 낮으면 최대값을 갖는 점끼리 연결한 선은 가장 경사가 완만한 선을 이루기 때문에 곡선이라고 할 수 있으며, 반면 최소값을 갖는 점끼리 연결한 선은 경사가 가장 급한 선을 이루기 때문에 능선이라고 할 수 있다.

실제 지도의 북쪽을 위로하여 고도가 낮은 등고선 i 가 고도가 높은 등고선 $i+1$ 의 아래쪽에 있고(즉 등고선 i 가 보다 남쪽에 있고), 이 등고선의 형태가 U자 모양을 이루면 능선부근의 형태가 되는데 이 경우 등고선 i 의 한 지점에서부터 가장 먼 거리를 갖는 등고선 $i+1$ 위의 점은 의미가 없게 된다. 따라서 이러한 경우는 등고선 $i+1$ 의 한 지점으로 부터 등고선 i 상의 가장 가까운 지점으로 곡선을 다시 정의를 해 주어야 하므로 행렬 L 의 최대값은 불필요하게 된다. 지면에 다다른 물은 현 위치에서 가장 경사가 급한 방향으로 흐른다. 따라서 물이 흐르는 궤적은 곡선이 정의된 장소까지 곡선이나 능선이 될 것이다. 극단적으로, 정확하게 분수계 선상에 떨어진 물은 정의한 바대로 그 옆의 한 쪽 사면을 향하지 못하고 분수계를 따라 흐르다가 곡선을 만나면 비로소 어느 한편을 선택하여

흐르게 될 것이다. 따라서 이 기법을 완성하기 위해서는 능선과 곡선을 보다 면밀하게 고찰해야 한다.

또한 이 기법으로 만들어진 직선은 등고선을 가로지르는 경우가 있으므로 적절한 방법을 보정해 주어야 할 것이다.

이 기법은 집수경로를 모의(模擬, simulation)하는데 사용할 수 있으므로 수문현상의 추적 및 총적층의 지하수연구에 결정적으로 큰 도움을 줄 수 있다.

결 언

본 논문에서 다룬 경사의 측정기법은 4종류이나 실제 사용 가능한 것은 3종류이다. 면적과 둘레를 이용하는 기법은 매우 편리하나 상당한 오차를 가져올 수 있어 방안지를 사용하는 기법이 널리 사용된다. vector product를 사용하는 기법은 곡면을 직접 삼각형으로 나누어 측정할 수 있으므로 여러가지 용도를 갖고 있지만 기복의 굴곡이 심한 곳에서는 상당한 오차를 나타내었다.

참고문헌

- 김의홍, 정몽현, 나방현, 홍성희, 이형호, 한옥, 이규석, 최병호, 이길성, 1989, 국토정보 관리를 위한 통합지리정보 시스템 개발 (I), 과학기술처 연구보고서.
- Champoux, A. and Toutant, C., 1988, Elements d'hydrologie, Le Griffon d'argile.
- Corbonnois, J. and Sary, M., 1985, Etude de la vitesse du courant et de la dynamique fluviale de la Mortagne. S.R.A.E.L.-D.E.D.S.
- Gill, E., 1991, Etude hydrologique des crues

de la Moselle et de la Sarre. S.R.A.E.L.-D.E.D.S.

Kim, S.C., 1988, Caractéristiques hydro-géographiques du bassin de la Mortagne, Mémoire de D.E.A. Université de Metz.

Kim, S.C., 1991, Etude hydrologique de la Mortagne, Thèse de doctorat. Université de Metz.

Roche, M., 1963, Hydrologie de surface. Paris, Gauthier-Villars.

Zumstein, J-F et al., 1985, Analyse critique des longues séries de hauteurs de crue aux

échelles d'Epinal, Toul et Metz sur la Moselle et de Malzéville sur la Meurthe. Validation des séries brutes, établissement des séries homogènes et reconstitution de séries de débits. Mosella.

김석중, 강필중
한국자원연구소
대전시 유성구 가정동 30번지
305-350
TEL : (042)868-3071
FAX : (042)861-9720