

# 토지 개발 적정성 평가를 위한 경사도 계산 방법 개선

## Improving the Slope Calculation Method for Evaluating the Feasibility of the Land Development

이병길  
Lee, Byoung Kil

### 要 旨

토지 개발 인허가 기준에는 중요 요소로서 경사도가 포함되어 있다. 토지 적성 평가 지침, 산지전용허가기준 등에는 수치지형도상 평가대상 토지의 평균경사도를 측정하여 경사도로 사용하며, GIS를 적용할 수 있다고 규정되어 있다. 입력 자료로는 국토지리정보원의 1/5,000 수치지형도 외에 한국토지정보시스템 전산자료를 활용 가능한 자료로 예시하고 있다. 경사도 계산에는 수치지형도의 등고선을 이용한 방법, 이를 DEM으로 변환하여 이용하는 방법 등 다양한 방법이 제시되고 있으나 표준화된 경사도 계산 방법은 제시되지 못하고 있어 실무에서 혼란이 발생하고 있다. 이러한 혼란을 감소시키기 위하여 본 연구에서는 표준화된 경사도 계산 방법과 적정 해상도를 결정할 수 있는 방안을 제안하고자 하였다. 경사도 계산에 사용되는 여러 방법을 분석한 결과, 지형의 복잡성을 고려하여 결정된 해상도를 가진 DEM을 만들어 유한차분법을 이용하여 평균경사도를 계산하는 개선된 방안을 제시하였다.

핵심용어 : 경사도, 산지 전용 허가, 토지 적성 평가, 수치표고모델, 유한차분법

### Abstract

Slope is one of the most important factor in land development permission standards. In guideline of 『Land Suitability Assessment』 or 『Forest Land Conversion Standard』, average slope can be measured using digital map and GIS for target area. Inputs in slope calculation are 1/5,000 digital map of NGII(National Geographic Information Institute) or digital information of Korea Land Information System. Many confusions occur in the field, as there is no standard for slope calculation and are lots of slope calculation methods using contour lines or DEM derived from them. Avoiding these confusions, this study was intended to propose a standardized method for slope calculation and a selection method for a suitable resolution. In this study, using DEM of optimum grid size according to the complexity of topography with finite difference method is suggested as improved slope calculation method, after comparing several representative slope calculation methods.

Keywords : Slope, Forest Land Conversion, Land Suitability Assessment, DEM, Finite Difference Method

### 1. 서 론

토지 적성 평가는 환경친화적이고 지속가능한 개발을 위하여 “국토의 계획 및 이용에 관한 법률”에 따라 시행하고 있는 제도이고(MOLIT, 2015), 산지전용허가는 산림의 이용과 보존을 위하여 “산지관리법”에 따라 시행하고 있으며(KFS, 2009) 각급 지방자치단체에서는 각종 개발 사업의 인허가와 관련한 도시계획 조례를 운영하고 있다(Seoul, 2016; Suwon, 2016). 경사도는 이렇게 다양한 토지 개발과 관련된 인허가 제도에서 중요하게 활용되고 있는 기준 중의 하나로, Chae and Oh

(2003)은 토지 적성 평가에 고려해야 할 여러 가지 여러 가지 지표의 가중치를 검토하여 개발적성의 평가에 경사도의 가중치가 높다고 제시하고 있다.

경사도란 지표면과 지평면이 이루는 각을 말하는 것이므로 물리적인 지형이 결정되면 기하학적으로 하나의 값을 가져야 하지만, 사용하는 데이터의 해상도나 축척에 따라 또는 계산 방법에 따라 동일한 토지에 대해 상이한 경사도가 산출될 수 있다. “토지의 적성 평가에 관한 지침”에는 수치지형도(1/5,000) 또는 한국토지정보시스템 전산자료를 활용하여, 수치지형도상 평가대상 토지의 평균경사도를 측정하는 것으로 지정되

Received: 2016.08.19, accepted: 2016.09.19

\* 정회원 · 경기대학교 공과대학 토목공학과 교수(Member, Professor, Department of Civil Engineering Kyonggi University, basil@kgu.ac.kr)

어 있다. 이 때 GIS의 기능을 이용할 수 있도록 규정되어 있으나, 상세한 내용은 누락되어 있다. 평균경사도의 측정 방법에 대해서는 각급 지방자치단체의 도시계획 조례에 상세한 내용이 수록되어 있는데, 모두 등고선과 등고선에 직각되도록 설정한 단면을 이용하여 경사도를 계산하는 방법을 제시하고 있다. “산지전용 허가기준 등의 세부 검토기준에 관한 규정”에도 평균경사도는 수치지형도를 이용하여 산출하되 수치지형도가 현실과 맞지 않거나 없는 지역에서는 실측으로 산출한다고 규정되어 있으며, 수치지형도를 이용하는 경우 격자단위를 10m×10m로 설정하여 평균경사도를 측정한다고 규정되어 있다. Kim (2011)은 산지전용허가의 기준에 대해 평균경사도 산출 알고리즘이나 산출 방법 등에 대한 언급이 없으며, 개발 사업자는 GIS 분석방법을 사용하고 허가 담당자인 시군의 공무원은 수작업 방법인 사전법(寺田法)을 이용하여 확인하고 있기 때문에 개발 신청 과정에서부터 논쟁의 소지가 있다고 지적하고 있다.

이와 같이 하나의 대상 토지에 대해 사용 데이터와 계산 방법에 따라 상이한 경사도가 나올 수 있기 때문에 평가 기준의 경계 값을 갖는 토지 개발의 계획 단계에서는 여러 가지 편법이 동원될 수 있는 여지가 있다. 따라서 토지 개발의 타당성 평가를 위한 경사도 계산 방법을 개선하여 이를 각종 지침 등에 수록하여 논란의 여지를 줄여야 할 필요가 있다.

Kim and Kwon (2014)은 산지전용허가 기준으로 사용되는 평균경사도 계산 방법의 개선안을 제시하였다. 여기서 대상지에 대한 격자의 시작점을 명확히 해야 하며, 사업대상지 경계에 위치한 격자에 대해서는 면적에 대한 가중치를 조정해야 한다고 하였다. 또한 불규칙삼각망을 생성하여 평균경사도를 계산하는 방법이 편차가 적어 경사도 계산의 표준적인 방법으로 우수하다고 하였다. 그러나 불규칙삼각망을 이용한 경우에도 개발 사업자가 수치지형도의 등고선을 조작할 위험성과 소프트웨어 간의 TIN(triangulated irregular network) 생성방법이 상이하기 때문에 이에 대한 기준이 마련되어야 한다고 부연하였다.

본 연구에서는 선행 연구의 한계를 극복하기 위하여 경사도 계산 방법과 경사도 계산을 위한 데이터의 적정 해상도를 검토하여, 우리나라의 환경에서 토지 개발 적절성 평가에 사용하기 용이한 경사도 계산 방법의 개선안을 도출하고자 하였다. 2장에서는 경사도 계산 방법, 3장에서는 적정 해상도를 분석하고, 4장에서 경사도 계산 방법의 개선안을 도출하였다.

## 2. 경사도 계산 방법

### 2.1 경사가 일정한 경우의 경사도 계산

경사가 일정하다고 하는 것은 하나의 단면에서 경사가 변하지 않거나 일정한 영역 내에서 지형에 굴곡이 없어 경사가 변하지 않는 것을 의미한다. 2.1.1항의 경우 전자의 의미이고, 2.1.2항에서 2.1.5항은 지형을 삼각형으로 분할하거나 사각형 격자로 분할하여 각 영역에 대해 하나의 경사도가 계산되기 때문에 후자의 의미를 갖는다.

#### 2.1.1 등고선에 직각 방향인 방향선을 이용하는 방법

경사도 측정을 위한 단면을 등고선에 직각이 되도록 설정하여 Eq. (1)을 이용하여 경사도를 계산한다 (Seoul, 2016; Suwon, 2016).

$$\tan(d) = \frac{H}{D} \quad (1)$$

where  $d$ : slope,  $H$ : elevation difference between contours,  $D$ : horizontal distance between contours.

#### 2.1.2 등고선 길이와 평면 넓이를 이용하는 방법

이 방법은 두 점간의 평면 길이로 높이 차이를 나누어 구하는 경사의 정의를 기반으로 한 공식이다. 이러한 경사의 개념을 확장하여 등고선의 길이, 등고선 간격(등고선의 높이 차이)과 등고선 사이의 평면 면적을 이용하여 경사를 구하는 방법으로 Eq. (2)과 같다(Kim and Kang, 1993).

$$\tan(S_i) = \frac{dH \times l_i}{a_i} \quad (2)$$

where  $l_i$ : length of contour line of an area  $i$ ,  $dH$ : contour interval according to the scale,  $a_i$ : plane size of a area  $i$ ,  $S_i$ : slope of a area  $i$ .

Eq. (2)을 전체지역으로 확장하면 Eq. (3)과 같이 표시할 수 있다.

$$\tan(S) = \frac{dH \times L}{A} \quad (3)$$

where  $S$ : mean slope of the whole area,  $L$ : sum of length of contour lines in the whole area,  $A$ : horizontal size of the whole area.

### 2.1.3 경사면적을 이용하는 방법

이 방법은 일정한 경사( $S_i$ )를 가진 평면의 면적( $A_s$ )과 이를 수평면으로 투영한 면적( $A_p$ )의 수학적인 관계인 Eq. (4)을 이용하여 경사를 구하는 방법이다(Yoo, 2006).

$$\sec S_i = \frac{1}{\cos S_i} = \frac{A_{si}}{A_{pi}} \quad (4)$$

where  $S_i$ : slope,  $A_{si}$ : surface size,  $A_{pi}$ : orthogonal projected size of  $A_{si}$ .

Eq. (3)을 전체지역의 평균경사 S의 식으로 변환하면 Eq. (5)이 된다.

$$\sec S = \frac{1}{\cos S} = \frac{\Sigma A_{si}}{A_p} \quad (5)$$

where  $A_p$ : horizontal size of the whole area, 일정한 경사를 가진 평면  $A_{si}$ 를 작성하기 위해서 불규칙 삼각망(TIN : Triangulated Irregular Networks)을 형성하는 소프트웨어를 사용한다.

### 2.1.4 격자선을 사용하는 방법

이 방법은 지형도 위에 가로, 세로 방향으로 일정한 간격의 격자선을 그리고 각각의 격자선과 교차하는 등고선의 수와 격자선의 길이를 이용하여 지역의 평균경사를 계산하는 방법이다(Kim and Kang, 1993). 격자선의 각 가로선과 세로선에 대한 평균경사는 각각

$$\tan(S_h) = \Sigma \frac{h_i dH}{H_i}, \tan(S_v) = \Sigma \frac{v_j dH}{V_j} \text{ 이 된다.}$$

where  $S_h$ : slope in horizontal direction,  $S_v$ : slope in vertical direction,  $dH$ : contour interval,  $H_i$ : length of a  $i^{th}$  horizontal line,  $V_j$ : length of a  $j^{th}$  vertical line,  $h_i$ : number of contour lines intersecting with the horizontal line  $H_i$ ,  $v_j$ : number of contour lines intersecting with the vertical line  $V_j$ .

이 때 가로선과 세로선의 길이가 동일한 경우 해당 지역의 평균경사는 Eq. (6)과 같다.

$$\tan(S_m) = \tan\left(\frac{S_h + S_v}{2}\right) = dH \frac{\Sigma h_i + \Sigma v_i}{2\Sigma D} \quad (6)$$

where  $S_m$ : mean slope,  $D$ : length of a lattice line

when  $H_i = V_i$ .

가로선의 길이와 세로선의 길이가 상이한 경우에는 해당 지역의 평균경사는 Eq. (7)과 같다.

$$\tan(S_m) = dH \frac{\Sigma h_i + \Sigma v_i}{\Sigma H_i + \Sigma V_i} \quad (7)$$

이 방법은 하나의 격자선에 같은 등고선이 반복해서 교차하면 경사도 계산값을 적절히 감소시켜야 하며, 격자선이 지역적으로 항상 최대 경사선과 동일한 방향이 아니기 때문에 경사가 적게 계산된다.

### 2.1.5 격자높이를 사용하는 방법

이 방법은 해당지역에 있는 일정한 격자 간격( $D$ )으로 분포한 점높이를 이용하여 해당 격자의 경사를 결정하고 각 격자의 경사를 평균하여 지역경사를 구하는 방법이다. Fig. 1과 같이 9개의 격자 점높이를 이용하여 중심에 있는 격자의 경사를 계산한다.

먼저 중심격자를 둘러싸고 있는 8개의 격자점의 높이를 이용하여 동서방향 경사( $S_x$ )와 남북방향 경사( $S_y$ )를 계산하고, Eq. (8)을 이용하여 중심격자의 경사 S를 구할 수 있다.

$$\tan S = \tan(\sqrt{S_x^2 + S_y^2}) \quad (8)$$

where  $S$ : slope of a center grid,  $S_x$ : slope of east-west direction,  $S_y$ : slope of south-north direction.

이 때,  $S_x$ 와  $S_y$ 를 구하는 방법은 4개 격자자료를 이용하는 방법(Eq. (9))과 8개 격자자료를 이용하는 방법(Eq. (10))이 주로 사용된다(WAMIS, 2016). Eq. (10)과 같은 방법을 유한차분법이라 한다.

$$S_x = \frac{Z_{i+1,j} - Z_{i-1,j}}{2D}, S_y = \frac{Z_{i,j+1} - Z_{i,j-1}}{2D} \quad (9)$$

where  $Z$ : elevation,  $D$ : size of a grid cell.

$Z_{i-1,j+1}$	$Z_{i,j+1}$	$Z_{i+1,j+1}$
$Z_{i-1,j}$	$Z_{i,j}$	$Z_{i+1,j}$
$Z_{i-1,j-1}$	$Z_{i,j-1}$	$Z_{i+1,j-1}$

Figure 1. Elevation Grid

Eq. (9)은 해당 격자의 좌우 4개의 격자만을 이용하여 계산이 간단하다는 장점이 있으나, 경사의 방향성에 너무 민감하다는 단점이 있어, 중심 격자의 8방향의 높이값을 모두 사용하는 Eq. (10)의 방법이 더욱 선호되는 방법이다(Zhang et al., 1999).

$$S_x = \left\{ \frac{(Z_{i+1,j+1} + 2Z_{i+1,j} + Z_{i+1,j-1}) - (Z_{i-1,j+1} + 2Z_{i-1,j} + Z_{i-1,j-1})}{8D} \right\},$$

$$S_y = \left\{ \frac{(Z_{i+1,j+1} + 2Z_{i,j+1} + Z_{i-1,j+1}) - (Z_{i+1,j-1} + 2Z_{i,j-1} + Z_{i-1,j-1})}{8D} \right\} \quad (10)$$

Eq. (10)의 방법은 Arcmap과 같은 다수의 GIS 소프트웨어에서 DEM(Digital Elevation Model)을 이용한 경사도 계산에 적용하고 있다(ESRI, 2008).

## 2.2 하나의 단면에서 경사가 변하는 경우의 경사도 계산

대부분의 도시계획축례에서 하나의 단면에서 경사가 변하는 경우의 경사도는 Eq. (1)의 경사도  $d$ 를 구간경사  $d_i$ 로 하고 구간의 평면거리 비율( $l_i/L$ )을 가중치로 사용하는 Eq. (11)을 이용하여 계산한다(Seoul, 2016; Suwon, 2016).

$$d_1 = \frac{\sum d_i l_i}{\sum l_i} = \frac{\sum d_i l_i}{L} \quad (11)$$

where  $d_i$ : mean slope of a segment,  $d_i$ : local slope of a segment  $i$ ,  $l_i$ : horizontal distance of a segment  $i$ ,  $L$ : horizontal distance of a cross section.

Eq. (11)에서  $d_i l_i$ 는 반지름이  $l_i$ , 각이  $d_i$ (단위 radian)인 원호의 길이에 대응하기 때문에 원래의 높이 차이  $H$ 와는 미소한 차이를 갖게 된다.  $d_i l_i$ 는  $\tan d_i l_i$ 보다 항상 작고 두 함수의 특성에 따라  $d_i$ 가 클수록 차이가 커지기 때문에 Eq. (11)에 의한 경사도는 항상 과소 추정된다.

## 2.3 지형이 평면적으로 변화되는 경우

대부분의 도시계획에서 Fig. 2와 같이 지형이 평면적으로 변하는 경우 Eq. (11)을 이용하여 결정된 2개 이상의 단면의 경사도 중 최대값을 해당지역의 경사도로 하거나(Seoul, 2016), Eq. (12)을 이용하여 평균경사도를 계산한다(Suwon, 2016).

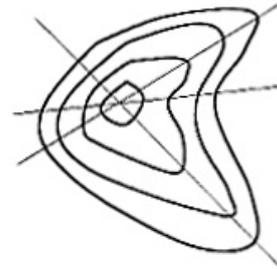


Figure 2. Inhomogeneous Topography

$$d = \frac{\sum d_{ai} l_{ai} + \sum d_{bj} l_{bj}}{\sum l_{ai} + \sum l_{bj}} \quad (12)$$

where  $d$ : mean slope,  $d_{ai}$ : local slope of  $i^{th}$  segment in cross-section  $a$ ,  $l_{ai}$ : distance of  $i^{th}$  segment in cross-section  $a$ ,  $d_{bj}$ : local slope of  $j^{th}$  segment in cross-section  $b$ ,  $l_{bj}$ : distance of  $j^{th}$  segment in cross-section  $b$ .

Eq. (12)은 두 개의 단면  $a, b$ 의 경사를 사용하여 전체 평균경사도를 계산하는 예이다. Eqs. (12) and (11)은 동일하게 원호의 길이를 누적하는 방법을 사용하기 때문에 이 경우에도 2.2절에서 발생하는 경사도의 과소 추정이 발생한다.

단면을 이용하여 경사도를 계산하는 방법이 아닌 2.1.2에서 2.1.5까지의 방법에서는 지형이 평면적으로 변하는 경우에 각각의 격자 또는 영역에서 계산된 값을 영역의 면적을 가중치로 하여 평균을 구하는 것으로 평균경사도를 계산할 수 있다.

## 2.4 소결

이상에서 분석한 바와 같이 등고선을 직접 이용하는 방법은 CAD 소프트웨어에서 수작업에 의하거나 전용 소프트웨어(PowerKS, AutoSlope 등)를 사용하여 평균경사도를 구하여야 한다. 한편 TIN을 이용하는 방법은 등고선으로부터 만들어지는 TIN이 소프트웨어 별로 상이하며, TIN을 이용한 경사도 계산 기능이 없는 소프트웨어도 다수 있는 등 경사도를 계산하는 기능의 범용

성이 떨어진다. 이 외에도 등고선을 직접 이용하는 방법은 계산 방법 자체에 내재하고 있는 오차의 요인 외에도 분석자 간의 편차가 발생할 수 있어 업무 현장에서 분쟁의 소지가 발생하게 된다. 반면 DEM을 이용하는 방법인 2.1.5항의 방법은 라스터 분석기능을 갖춘 대부분의 GIS 소프트웨어에서 분석이 가능하며, 여러 공개 소프트웨어 역시 동일한 기능을 제공하기 때문에 범용성이 우수한 방법으로 소프트웨어 간의 편차도 크지 않다. 따라서 평균경사도의 계산에는 DEM에 유한 차분법을 적용한 Eq. (10)을 사용하는 것이 가장 적합한 것으로 판단된다(Jones, 1998; Florinsky, 2012).

### 3. 적정 해상도 분석

GIS가 도입된 이후 격자형의 DEM과 2.1.5항의 방법을 이용한 경사도 계산이 널리 사용되고 있다(Zhang et al., 1999). DEM은 기 구축된 DEM을 활용하기도 하지만 토지적성평가, 산지전용허가, 도시계획조례에서 경사도 계산의 기준이 되는 1/5,000 수치지형도를 이용하여 구축할 수도 있다. 이와 같이 수치지형도로부터 DEM을 생성할 때는 DEM의 해상도를 결정해야 한다.

DEM의 해상도는 경사도 계산 결과에 영향을 준다. 검토된 모든 선행연구에서 해상도가 좋아지면 평균경사도가 커진다고 보고하고 있다(Yang et al., 1997; Thompson et al., 2001; Yang et al., 2002; Um and Lee, 2012). 1/5,000 지형도를 사용하는 경사도 계산에서 DEM의 해상도에 따라 경사도가 변한다면 토지 개발의 타당성을 적절하게 평가할 수 없게 된다. 그러므로 일관된 기준으로 경사도의 평가가 가능하도록 하기 위해서는 1/5,000 수치지형도로부터 경사도 계산에 사용할 수 있는 적정 해상도의 제시가 필요하다.

지도로부터 라스터 데이터를 만들기 위한 격자 크기를 결정할 때 사용할 수 있는 경험적 법칙은 Rossiter가 제시하였다(Hengl, 2006). Rossiter는 지도에 그릴 수 있는 최소 식별 묘사(MLD: minimum legible delineation)의 크기가 격자 4개의 크기에 대응한다고 하였다. MLD는 일반적으로  $0.25\text{cm}^2$  정도로 알려져 있기 때문에 격자의 크기는 축척계수(SN)와 MLD를 이용하여 Eq. (13)과 같이 계산할 수 있다.

$$p \leq \sqrt{\frac{MLD}{4}} = \frac{\sqrt{SN^2 \times 0.000025}}{2} = SN \times 0.0025 \quad (13)$$

where,  $p$ : pixel size,  $MLD$ : minimum legible delineation area in  $m^2$ ,  $SN$ : scale number.

Eq. (13)에 토지적성평가, 산지전용허가, 도시계획조례 등에 사용되는 1/5,000 수치지형도의 축척분모수 5,000을 대입하면 12.5m이다. 현재 산지전용허가에서 사용하고 있는 격자크기 10m는 Eq. (13)에 의해 구해진 값에 비해 작기 때문에 적정하다고 할 수 있다. 그러나 Rossiter의 이 방법은 동일한 축척에서도 지역에 따라 매우 다양한 지형의 변화가 발생할 수 있고, 경사도의 크기가 해상도는 물론 지형의 복잡도에 따라서도 변화하기 때문에 일괄적으로 적용하기에는 적합하지 않다.

DEM과 같은 라스터 데이터의 적정 해상도를 결정하기 위한 연구로 가장 널리 알려진 것은 Hengl (2006)의 연구이다. 이 연구에서 라스터 데이터의 격자크기를 결정하는 데 참고할 수 있는 네가지 방법이 다음과 같이 제시되었다. (1) GPS 측량의 오차 반경에 해당하는 크기, (2) 가장 작고 좁은 필지의 크기, (3) 현지 조사된 데이터의 경우 현지 조사의 밀도와 공간자기상관성에 따라 결정된 크기, (4) 지형의 복잡도(등고선의 간격 및 길이)에 따라 결정된 크기. 이러한 방법 중 수치지형도로부터 만들어지는 DEM의 적정 해상도를 결정하는데 사용할 수 있는 가장 좋은 방법은 (4)이다. Hengl은 Nyquist-Shannon의 표본추출 정리를 적용하여 단면의 길이를 변곡점 및 극점(극대점 및 극소점)의 배수로 나눈 값을 적정 DEM 해상도라고 하였으며, 2차원인 지도에 적용하기 위해서 등고선 길이의 합을 사용하는 Eq. (14)의 방법을 제안하였다.

$$p = \frac{A}{2 \times \sum l} \quad (14)$$

where,  $A$ : total size of study area,  $l$ : length of a contour.

Eq. (14)에 따라 결정되는 DEM의 해상도가 실제 지형의 복잡도에 따라 어떻게 변하는 지 살펴보기 위해 나주지역(Naju), 대전·금산지역(Daejun·Keumsan), 수원·이천지역(Suwon·Icheon), 안흥지역(Anheung) 등 4개 지역에 위치한 1/5,000 16개 도엽(나주018, 나주019, 나주028, 나주029, 대전096, 대전097, 금산006, 금산007, 수원090, 수원100, 이천081, 이천091, 안흥055, 안흥056, 안흥065, 안흥066)을 이용하여 적정 해상도를 계산하였다. 각 지역의 수치지형도에서 등고선만을 추출한 결과는 Figs. 3 to 6과 같다. 1/5,000 한

Table 1. Optimum DEM Resolution (unit: m)

No.	Naju	Daejun·Keumsan	Suwon·Icheon	Anheung
1	15.4	7.0	10.8	6.5
2	6.0	6.5	6.4	7.1
3	9.1	5.4	11.4	4.8
4	8.6	5.5	7.4	4.8
Mean	9.8	6.1	9.0	5.8

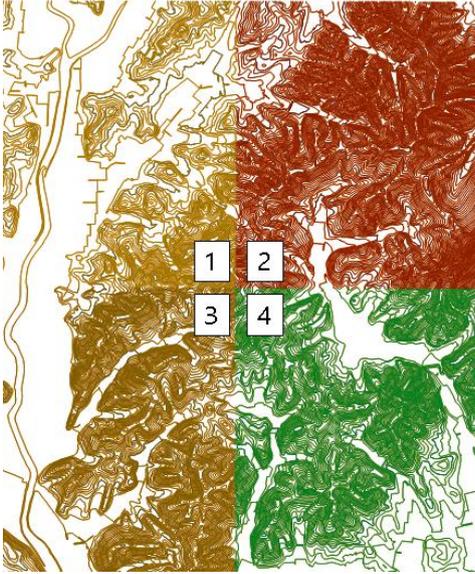


Figure 3. Naju Area



Figure 4. Daejun·Keumsan Area

도엽에 포함되는 면적은  $6,050,000m^2$ 이므로 각 도엽에 포함된 등고선의 길이를 구한 후 Eq. (14)을 이용하여 Table 1과 같이 적정 해상도를 계산하였다.

지형의 복잡도에 따른 DEM의 적정 해상도를 계산한 결과 평균적으로 나주지역에서  $9.8m$ , 대전·금산지역에서  $6.1m$ , 수원·이천지역에서  $9.0m$ , 안흥지역에서  $5.8m$ 가 적절한 것으로 계산되었다. 도엽별로 산출된 결과



Figure 5. Suwon·Icheon Area

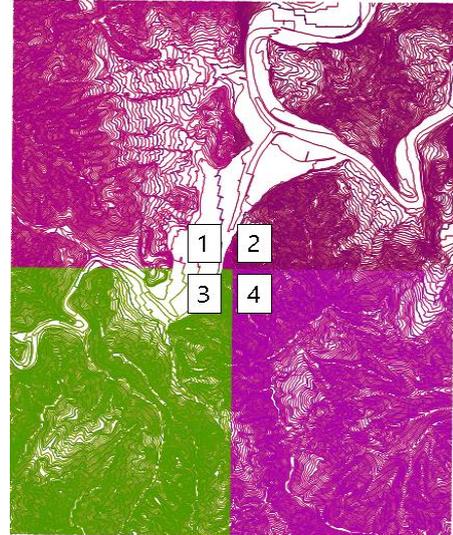


Figure 6. Anheung Area

를 살펴보면 평지가 많이 보이는 나주 1, 3, 4지역과 수원·이천 1, 3지역을 제외하면  $6.1m$ 의 해상도가 적정

해상도의 평균으로 산출되어 산지와 구릉지가 많은 우리나라에서는 산지전용허가에서 규정하고 있는 10m 보다는 큰 해상도가 적합한 것으로 판단된다.

#### 4. 토지 개발 인허가를 위한 경사도 계산 개선안 제안

3장에서 적정 해상도 평가의 대상이 된 1/5,000 도엽에는 대부분 산지와 평지가 고루 분포해 있는 반면에 산지전용허가 등 최근 토지 개발 인허가의 대상은 대부분 구릉지 이상의 경사를 지닌 지역일 것으로 예상된다. 따라서 현업에서 대상지에 따라 데이터에 기반한 DEM의 해상도를 결정하기 어렵다면 구릉지 또는 산지와 같은 경사지의 특성을 고려하여 앞에서 제시된 6.1m 이상의 해상도인 5m를 경사도 분석의 적정 해상도로 사용하는 것을 제안한다.

국토지리정보원에서는 다양한 해상도의 DEM을 공급하고 있으며, 5m 해상도의 DEM은 V-World 포털을 통해 공공기관에 무상제공되고 있다. 따라서, 적정 해상도 5m는 현재 우리나라의 공간정보 수준 상황을 고려할 때, 활용성 및 범용성이 더욱 높은 기준이다.

2장에서 검토된 바와 같이 Eq. (10)의 유한차분법을 이용한 경사도의 계산은 일반적인 GIS 소프트웨어는 물론 데이터의 형태에 따라서는 엑셀 소프트웨어와 같은 사무용 소프트웨어에도 적용이 가능하다. 본 연구에서는 3장에서 검토된 지역 중 수원·이천 3지역의 DEM을 5m 해상도로 구축하고 Arcmap, QGIS 및 Excel 소프트웨어를 이용하여 경사도를 계산한 결과를 비교하였다. DEM은 Arcmap 소프트웨어에서 등고선만을 이용하여 TIN을 구성한 후, 이로부터 linear interpolation 기법으로 구축하였다.

실험 결과 Arcmap, QGIS, Excel 등 세가지 소프트웨어를 이용한 계산에서 최대경사도 56.32°, 최소경사도 0°, 평균경사도 10.25°로 모두 동일한 경사도를 산출하였다. 세부적으로 화소별로 계산된 경사도를 비교한 결과, 계산값의 차이는 각 소프트웨어에서 사용하는 ATAN(함수와 라디안을 도로 변환하는 과정의 반올림 오차인  $10^{-5}$  이하로 분석되었다. 이는 Eq. (10)에 의한 유한차분법이 모든 소프트웨어에서 동일하게 작동함을 의미한다.

실무적으로는 1/5,000 수치지형도를 이용하여 DEM을 제작하지 않고 국토지리정보원에서 공급하는 5m 해상도의 DEM을 활용할 수 있다. 따라서 이상에서 제안한 내용과 같이 국토지리정보원의 5m 해상도의 DEM과 엑셀 소프트웨어를 활용한 경사도 분석이 가

능하다. 이와 같은 방법은 인허가 담당자가 쉽게 사용할 수 있는 공인된 데이터와 쉽게 사용할 수 있는 범용 사무용 소프트웨어를 사용하기 때문에, 사업자의 분석 결과에 의존하지 않는 책임행정을 위한 도구로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 5. 결 론

토지 개발을 위한 인허가에서는 제도적으로 경사도를 고려하여야 한다. 토지적성평가, 산지전용허가 및 지방자치단체의 도시계획조례에는 등고선을 이용하여 경사도를 구하도록 규정되어 있으나 이는 작업자에 따라 상이한 값이 산출될 수 있는 가능성이 있다. 한편 GIS의 공간분석기법을 이용하여 DEM으로부터 경사도를 구하는 방법에 대해서도 구체적인 방법이 제시되어 있지 않다. 본 연구에서는 토지 개발의 인허가에 필수 평가 요소인 경사도를 구하는 개선된 방법을 제시하기 위해 가장 적합한 경사도 계산 방법과 계산에 사용하기에 적절한 해상도를 결정할 수 있는 방안을 연구하였다. 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 경사도 계산 방법으로는 DEM을 활용하는 유한차분법이 적합하다. 유한차분법은 데이터의 용량이 크지 않을 경우 엑셀과 같은 사무용 소프트웨어에서도 전용 소프트웨어에서 계산한 결과와 동일한 결과를 얻을 수 있어 현업에서 용이한 활용이 가능하다.

둘째, 지형의 굴곡에 따라 DEM의 적정 해상도를 결정하여야 하며, 본 연구의 실험지역에 대해서는 표본추출 정리를 적용할 경우 5m가 적절한 해상도로 판단되었다. 또한 적정 해상도를 실제 규정에 도입하기 위해서는 향후 충분한 표본에 대한 실험을 통한 검증이 요청된다.

셋째, 경사도의 계산에는 Excel 소프트웨어의 활용이 가능하다. 1/5,000 한 도엽은 5m 해상도의 DEM으로는 445×566 크기의 격자 데이터에 해당한다. 이정도 크기의 데이터는 Excel 소프트웨어의 기능으로도 처리가 가능하기 때문에 특별한 소프트웨어를 사용하지 않고도 경사도를 계산할 수 있으며, 이 경우 누구나 동일한 기준의 동일한 처리 결과를 얻을 수 있게 되므로 현업에서의 활용성이 크게 개선될 수 있다.

DEM이 구축되어 있는 경우가 아니라면 DEM 구축 방법을 표준화하는 것이 필요하지만, 5m 해상도의 DEM은 국토지리정보원에서 제작하여 V-World를 통해 공공기관에 제공하고 있으므로 본 연구에서 제안된

기법의 활용성이 클 것으로 기대된다.

### 감사의 글

이 논문은 2013학년도 경기대학교 연구년 수혜로 연구되었음

### References

- Chae, M. O. and Oh, Y. J., 2003, A study on land suitability factors and their weights, *Journal of the Korean Geographical Society*, Vol. 38, No. 5, pp. 725–740.
- ESRI, 2008, How slope works, ESRI, <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=How%20Slope%20works>
- Florinsky, I. V., *Digital terrain analysis in soil science and geology*, Elsevier Inc., San Diego, USA, pp. 37, 43–64.
- Hengl, T., 2006, Finding the right pixel size, *Computers & Geosciences*, Vol. 32, No. 9, pp. 1283–1298.
- Jones, K. H., 1998, A comparison of algorithms used to compute hill slope as a property of the DEM, *Computers & Geosciences*, Vol. 24, No. 4, pp. 315–323.
- Kim, M. Y., 2011, A study on improvement permission system of the forest land use conversion, *Public Land Law Review*, Vol. 52, pp. 71–92.
- Kim, S. C. and Kang, P. J., 1993, Measuring technique of the slope on a topographic map, *The Journal of Engineering Geology*, Vol. 3, No. 1, pp. 75–81.
- Kim, W. K. and Kwon, S. D., 2014, Comparison of average slope measurement methods to evaluate the feasibility of forest land conversion, *Journal of Agriculture & Life Science*, Vol. 48, No. 1, pp. 49–58.
- Korea Forest Service, 2009, Provisions relating the detailed review criteria of the forest conversion permit standards, The KFS Notification No. 2009–153, Korea.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2015, A guidance on land suitability assessment, The MOLIT Directive No. 549, Korea.
- Seoul, 2016, Urban planning ordinance, Seoul Ordinance No. 3468, Seoul, Korea.
- Suwon, 2016, Urban planning ordinance, Suwon Ordinance No. 5328, Suwon, Korea.
- Thompson, J., Bell, J. and Butler, C., 2001, Digital elevation model resolution: effects on terrain attribute calculation and quantitative soil–landscape modeling, *Geoderma*, Vol. 100, No. 1–2, pp. 67–89.
- Um, D. Y. and Lee, B. S., 2012, Analysis of the effect on the location evaluation of golf course according to the unit grid size applied in the slope analysis (in flank of environment), *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 30, No. 5, pp. 467–475.
- Water Resources Management Information System, 2016, Analysis criteria of basin characteristics, Han River Flood Control Office, [http://www.wamis.go.kr/wkb/wkb\\_anlst\\_lst.aspx](http://www.wamis.go.kr/wkb/wkb_anlst_lst.aspx)
- Yang, I. T. and Kim, Y. J., 1997, The effect of grid size in a slope analysis of terrain by DEM for hydrological analysis, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 15, No. 2, pp. 221–230.
- Yang, I. T., Kim, Y. J. and Yu, Y. G., 2002, An analysis of terrain slope and drainage basin area by DEM grid size, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 20, No. 3, pp. 303–311.
- Yoo, B. M., 2006, *Digital Surveying Engineering*, Bak Yeong Sa, Seoul, Korea, p. 342.
- Zhang, X., Drake, N., Wainwright, J. and Mulligan, M., 1999, Comparison of slope estimates from low resolution DEMs: scaling issues and a fractal method for their solution, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 24, No. 9, pp. 763–779.