

TPI 응용에 의한 산악지형 분류기법의 적용을 위한 scale factor 선정방법 개발

장광민¹ · 송정은¹ · 박 경³ · 정주상^{1,2*}

¹서울대학교 산림경영정보연구실, ²서울대학교 농업생명과학 연구원, ³성신여대 지리학과

An Objective Procedure to Decide the Scale Factors for Applying Land-form Classification Methodology Using TPI

Kwangmin Jang¹, Jungeun Song¹, Kyeong Park³ and Joosang Chung^{1,2*}

¹Department of Forest Resources, Seoul National University, Korea

²Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University

³Department of geography, Sungshin Women's University, Korea

요약: 이 연구는 우리나라의 산악형 산림지대의 지형을 분류하기 위한 방안으로 TPI를 응용하기 위해 수행되었다. 이 방법을 적용하기 위해서는 지형특성에 적합한 기초분석단위로 scale factor들이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 scale factor를 결정하기 위한 객관적으로 결정하기 위한 방안을 제시하였다. 즉, 산지의 기복 패턴을 반영하기 위한 scale factor를 결정하기 위해 음영기복도를 이용하여 제작된 지형성장곡선으로부터 기울기변화도 곡선을 작성하였다. 기울기변화도 곡선을 이용하여 기복의 변화량이 최대가 되는 지점을 찾고, 그 극대점에서의 grid 크기를 찾아 지형 분류를 위한 scale factor로 결정하였다. scale factor 결정 알고리즘의 적용성을 검토하기 위하여 지형특성이 다른 3곳의 산악지대에 대한 scale factor를 도출하고, 지형분류를 수행하였다. 이 방법에 따른 연구결과 scale factor는 지형기복이 심할수록 짧아지는 경향이 있음을 보여주었다. 또한 TPI를 이용하여 분류한 능선과 계곡의 수가 종단면도를 이용한 방법과 유사하게 나타났고, scale factor의 크기가 대상지역의 능선 간 평균거리와 일치하는 경향이 있음을 보여주었다.

Abstract: The objective of this research was to introduce the TPI approach for interpreting land-forms of mountain forests in South Korea. We develop an objective procedure to decide the scale factor as a basic analytical unit in land-form classification of rugged mountain areas using TPI. In order to determine the scale factor associated with the pattern of slope profiles, the gradient variance curve was derived from a revised hypsometric curve developed using the relief energy of topographic profiles. Using the gradient variance curve, found was the grid size with which the change in relief energy got the peak point. The grid size at the peak point was determined as the scale factor for the study area. In order to investigate the performance of the procedure based on the gradient variance curve, it was applied to determination of the site-specific scale factors of 3 different terrain conditions; highly-rugged, moderately-rugged and relatively less-rugged. The TPI associated with the corresponding scale factors by study site was, then, determined and used in classifying the land-forms. According to the results of this study, the scale factor gets shorter with more rugged terrain conditions. It was also found that the numbers of valleys and ridges estimated with TPI show almost the same trends as those of the observed and the scale factors tends to approach to the mean distance of ridges.

Key words : landform analysis, topographic position index, scale factor, relief energy

서론

지형은 산림내의 토양, 수문, 식생, 생물학적 생산성 그

리고 경영활동에 직·간접적으로 영향을 미친다(David and Glenn, 1997). 따라서 산지의 합리적인 이용을 위해서는 산지의 지형특성에 대한 이해가 매우 중요하다. 또한, 산지의 지형분류는 지리학이나 지역적 특성을 연구하는 학문적 측면에서 뿐만 아니라, 산지의 합리적인 이용, 개

*Corresponding author
E-mail: jschung@snu.ac.kr

발 및 보전계획의 수립에도 요구된다. 특히, 우리나라와 같이 기복이 심하고 다양한 지형이 복합적으로 나타나는 험준한 산악지대가 많은 경우 산지의 지형적 특성에 대한 이해가 더욱 중요한 반면 지형분류를 수행한다는 일 자체가 쉽지 않다는 것을 의미한다.

일반적으로 산지의 지형분류는 현장 조사와 항공사진을 이용하여 수행하는 것이 효과적인 방법으로 알려져 왔다. 그러나 이러한 기존의 분류방법은 상대적으로 많은 시간이 소요되고 지형분류자의 주관적 판단에 좌우되기 쉬우며, 재생산이 용이하지 않다는 단점이 있다(Draut and Blaschke, 2006). 최근들어 GIS 기법의 발달과 함께 지형 특성을 정량적으로 구분하기 위한 방법들이 크게 개선되고 있어 기존의 지형분류기법을 빠르게 대체해 가는 추세에 있다.

GIS를 응용하는 지형분류 방법은 크게 격자기반 분류방법과 객체기반 분류방법으로 구분할 수 있다. 기존의 연구에서는 주로 격자기반 분류방법을 사용하여 지형분류를 수행해 왔다. 이 방법을 적용한 연구(Ruhe, 1975; Speight, 1990; Dikau 등, 1991; Lars, 1998)에서는 DEM data로부터 사면, 경사 그리고 고도 등과 같은 지형의 속성들을 grid단위로 추출하여 지형분류에 이용하였다. 그 외에 Dikau 등(1989)은 상대적 고도와 경사도를 이용하여 산지지형을 분류하였고, Skidmore(1990)는 한 지점에서 능선, 계곡과의 거리를 이용하여 지형을 능선, 사면, 계곡 등으로 분류하였으며, Philip과 Steven(1998)은 경사도의 변화패턴을 이용하여 사면에 대한 지형분류를 시도하였다.

대체로 이와 같은 격자기반 분류방법은 수행시간에 있어 효율적이긴 하지만, 상대적으로 지형을 분류하고 해석하는데 있어 많은 한계가 있는 것으로 알려져 있다(Blaschke and Strobl, 2001; Burnett and Blaschke, 2003). 일례로, Draut와 Blaschke(2006)는 이 방법을 적용하는 경우 인접 지역과의 지형학적 관계를 고려하기 어렵고, Blaschke와 Strobl(2001)은 다양한 scale을 동시에 고려한 지형분류는 더욱 어려운 것으로 보고하고 있다.

현재는 이와 같은 지형해석 혹은 지형분류 상의 문제점으로 인해 객체기반의 GIS 응용방식이 선호되고 있는 추세다. Weiss(2001)는 서로 다른 두 개의 scale factor로부터 산출된 지형위치지수(Topographic Position Index: TPI)를 이용하여 산지지형에 대한 정량적인 분류를 시도한 바 있다. 그는 다양한 scale factor를 동시에 고려함으로써 인접 지역과의 지형학적 관계를 고려할 수 있었고, 지형의 모양이나 상대적 위치 등에 대한 정보를 통해 지형특성을 보다 효과적으로 파악할 수 있었다. 이러한 기법을 이용한 최근의 연구로는 Michael 등(2006)이 TPI와 위성영상을 이용하여 식생타입을 분류하였고, Dickson과 Beier(2007)는 야생동물인 퓨마의 움직임과 지형적 특성간의 상

관관계를 밝히는데 TPI를 사용한 바 있다. 우리나라에서도 박경훈 등(2007)이 TPI를 이용하여 산악 습지의 변화를 예측하였고, 우충식 등(2008)이 항공사진과 TPI를 이용하여 산사태 발생지를 예측하는 등 TPI의 응용범위가 넓어지고 있다.

이와 같은 객체기반의 지형분류기법에서는 지형특성에 적합한 scale factor를 선정하는 것이 중요하다. 이것은 지형을 분류할 때 scale에 따라 산지의 기복도가 달라지고, 능선 및 계곡 등의 구분이 달라질 수 있기 때문이다. scale factor를 선정하는 방법과 관련하여 McBratney 등(1992)은 대개의 기존 연구들이 대상지역의 능선 간 평균거리를 scale factor로 활용하고 있으나 이 경우 지형분류자의 주관적인 판단에 의해 좌우될 소지가 있어 자칫 객관성이 결여될 수 있음을 지적하고 있다. 따라서 scale factor는 지형분류를 하고자 하는 산지의 특성 및 지형분류 목적에 부합되도록 일정한 기준에 의해 설정될 필요가 있다.

특히, 우리나라와 같이 산지의 기복이 심하고, 지형적 변이가 큰 경우에는 scale factor를 결정하는데 보다 합리적이고 보편적으로 적용이 가능한 판단기준을 찾을 필요가 있을 것이다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 우리나라 산지의 지형적 특성을 이해하는데 적용할 수 있는 지형성장곡선을 활용한 scale factor 결정방법을 모색하고, TPI를 기반으로 한 지형분류를 수행하여 scale factor 결정방법에 대한 타당성을 검토하였다.

TPI 응용에 의한 산악지형 분류의 개념

다양한 형태 및 크기의 능선과 계곡으로 구성된 산악지의 지형적 특성을 찾는 일은 그 중요함에도 불구하고 쉽지 않은 일이다. Weiss(2001)는 GIS 응용에 의해 산악지형을 분류하기 위해 TPI 및 지형경사를 이용하는 방식을 제안하였다. TPI는 특정지형의 상대적 위치를 정량적으로 나타낸 값으로 특정 grid의 고도와 인접한 grid들의 평균 고도와의 차이에 의해 결정되며, 일반적으로 지형조건에 따라 Figure 1에 보이는 범위의 값으로 나타난다. 즉, 이 그림에 의하면 TPI가 양의 값이면 특정 셀이 주변보다 높은 지형임을 의미하고, 음의 값이면 주변보다 낮은 지형임을 의미한다.

반면 산악지형의 구분은 넓은 지역을 분석대상으로 하게 되므로 대개는 다양한 형태 및 크기의 능선과 계곡이 복합적으로 어우러진 형태를 보인다. 따라서 grid 단위의 분석에 의한 지형구분보다는 인접지역과의 지형관계를 고려할 수 있는 객체기반의 분류방법이 적합하다.

TPI를 이용한 분류방법에서 사용하는 scale factor는 grid, small neighborhood(SN) 및 large neighborhood(LN) scale의 3 단계가 이용된다. 이 중 grid scale은 수치지형도의 해

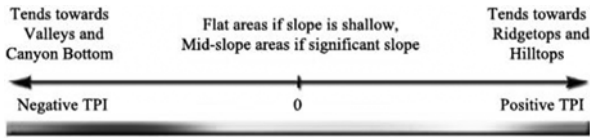


Figure 1. The concept of the topographic position index associated with terrain conditions (Jenness, 2006).

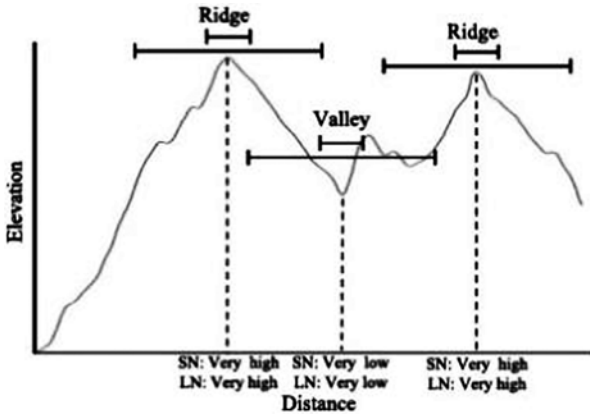


Figure 2. A conceptual diagram for the ridges and valleys extracted using the landform profile and scale factors.

Table 1. Landform categories by Weiss (2001).

Landform categories	Slope	Small neighborhood	Large neighborhood
Canyons	-	$TPI \leq -1$	$TPI \leq -1$
Shallow valleys	-	$TPI \leq -1$	$-1 < TPI < 1$
Upland drainages	-	$TPI \leq -1$	$TPI \geq 1$
U-shape valleys	-	$-1 < TPI < 1$	$TPI \leq -1$
Plains	$\leq 5^\circ$	$-1 < TPI < 1$	$-1 < TPI < 1$
Open slopes	$> 5^\circ$	$-1 < TPI < 1$	$-1 < TPI < 1$
Upper slopes	-	$-1 < TPI < 1$	$TPI \geq 1$
Hills in valleys	-	$TPI \leq 1$	$TPI \leq -1$
Midslope ridges	-	$TPI \leq 1$	$-1 < TPI < 1$
High ridges	-	$TPI \leq 1$	$TPI \geq 1$

상도에 의해 결정되며 지형경사를 파악하기 위해 사용된다. 반면 SN 및 LN scale은 기록의 심한정도 혹은 능선간 평균거리와 같은 대상지역의 지형특성에 의해 결정된다. 일반적으로 scale factor의 값이 클수록 지형의 큰 윤곽을 파악하는데 유리하지만, 대신 지형의 작은 변화를 읽기가 힘들어지는 경향이 있어(이춘경과 김창환, 2001), Figure 2에서와 같이 SN scale은 상대적으로 작은 규모에서의 지

형형태를, 그리고 LN scale은 큰 규모에서의 지형형태를 파악하기 위해 동시에 사용한다.

한편 Weiss(2001)는 산악지형의 유형을 Table 1과 같이 제시하였다. 이 표에 의하면 Weiss는 경사와 SN 및 LN scale에 따른 기준에 의해 산악지형을 심곡(Canyon), 천곡(Shallow valley), 산악수로(Upland drainage), U형 계곡(U-shape valley), 평지(Plain), 산록사면(Open slope), 산복사면(Upper slope), 꼭져구릉(Hills in valley), 능선사면(Midslope ridge), 능선(High ridge)과 같이 10가지 유형으로 구분하고 있다.

연구방법

1. 연구대상지

본 연구에서는 비교적 다양한 산악 특성이 나타나는 강원도 양양군을 대상으로 고도나 경사도 등의 관점에서 지형적 특성이 상이한 것으로 판단되는 3 곳을 연구대상지로 선정하였다. Figure 3 및 Table 2에 1:5,000도엽에 해당하는 연구대상지의 위치와 경사 및 고도가 나타나 있다. 이 표에 의하면 평균경사도는 대상지 3 > 대상지 1 > 대상지 2의 순이고, 평균 고도는 대상지 1 > 대상지 3 > 대상지 2의 순이며, 각 대상지별 지형적 변이가 작지 않음을 알 수 있다.

2. 지형해석 및 분류

산악지형을 분류하기 위한 방법으로 Weiss(2001) 및

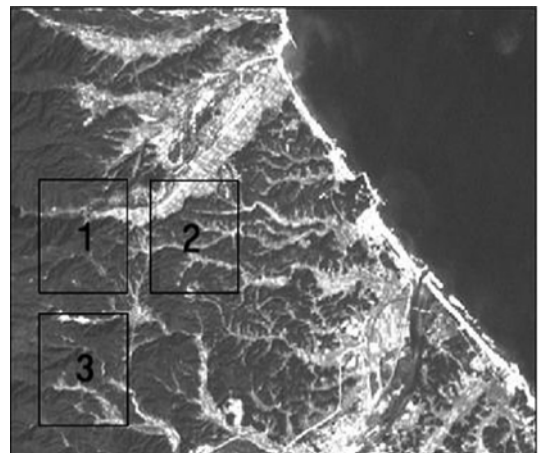


Figure 3. Locations of study sites.

Table 2. Topographic conditions of study sites.

Study site	Gentle slope <math><10^\circ</math>	Middle slope $10^\circ\sim 30^\circ$	Steep slope $>30^\circ$	Mean slope	Minimum elevation	Maximum elevation	Mean elevation
Site 1	30.4%	55.4%	14.2%	20.9°	75 m	470.0 m	193.8 m
Site 2	41.7%	54.2%	3.9%	13.7°	30 m	186.8 m	82.1 m
Site 3	16.4%	51.1%	32.5%	24.2°	45 m	333.6 m	147.1 m

Jenness(2006)의 TPI를 이용한 지형분류기법을 적용하였으며, TPI의 산출을 위하여 Jenness(2006)가 Arcview script를 기반으로 개발한 TPI산출 프로그램을 사용하였다. 경사도 및 TPI 값을 산출하기 위하여 본 연구에서는 1:5000 수치지형도를 이용하여 10 m 해상도의 DEM을 작성하였다. 현재 국내에는 정량적 지형분류를 위한 분류체계가 확립되지 않은 실정이므로, 지형해석을 위한 분류체계로 Table 1에 제시된 Weiss(2001)의 분류기준을 적용하였다.

3. 지형성장곡선을 활용한 scale factor의 선정

본 연구에서는 대상지역의 지형분류에 적합한 scale factor를 결정하기 위하여 지형성장곡선을 이용하였다. 지형성장곡선이란 기준이 되는 한 지점으로 부터 수평거리에 따른 기복량을 함수의 관계로 표현한 것으로 국내에서는 이금삼과 조화룡(1998) 및 성춘자(2003) 등이 전국 단위의 기복량 분석을 위한 grid의 크기를 결정하는데 이용한 바 있다.

지형성장곡선에는 기복량의 변화패턴이 나타나며, 기복량의 변화에 따라 곡선의 기울기가 변하게 되는데. 이러한 변화를 이용하여 scale factor를 결정하였다. 즉, 본 연구에서는 우선 지형성장곡선의 각 지점에 해당하는 기울기의 함수관계에 의해 기울기변화곡선을 작성하고, 이 곡선의 극값들 중 가장 큰 변화를 주는 점의 좌표상의 위치, 즉, 특정 기준점으로 부터의 수평거리를 지형분류를 위한 scale factor로 결정하는 방식을 이용하였다.

아래의 Figure 4 및 식 1을 이용하여 지형성장곡선의 각 지점에서의 기울기변화도를 산출하고 기울기변화도 곡선을 작성하였다. 지형성장곡선 상의 임의의 점 k에서의 기울기 변화도(δ)는 k와 k-1가 이루는 기울기 $\beta_{k,k-1}$ 과 k+1과 k가 이루는 기울기 $\beta_{k+1,k}$ 의 차로 계산된다. 기울기변화도 곡선은 곡선의 기울기 변화를 나타낸 그래프로써 Philip과 Steven(1998)은 특정 곡선에서 기울기의 변화패턴이 달라

지는 지점을 결정하는데 기울기변화도 곡선을 이용한 바 있다.

$$\delta = \beta_{k,k-1} - \beta_{k+1,k} \tag{1}$$

모델의 검증

지형성장곡선 알고리즘에 의해 선정된 scale factor의 적용성을 평가하기 위하여 TPI를 이용해 작성된 지형분류도와 종단면도의 지형분류결과를 비교함으로써 모델을 검증하였다. 이를 위하여 각 대상지역마다 10개의 임의의 지점을 지나는 종단면도를 생성하였다. 다음으로 Figure 2와 같이 TPI를 이용해 작성한 지형분류도와 종단면도상에 나타나는 능선과 계곡의 수를 비교하였으며, 종단면도 상에서의 능선간 평균거리와 LN scale을 비교하였다.

결과 및 고찰

1. Scale factor의 결정

TPI를 이용한 지형분류를 위해서는 전술한 바와 같이 3 단계의 scale, 즉, grid, SN 및 LN을 위한 각각의 scale factor가 결정되어야 하는데 본 연구에 사용된 대상지별 scale factor가 Table 3에 제시되어 있다.

이 중 grid scale의 scale factor는 수치지형도의 해상도를 고려하여 10 m로 하였고, SN 및 LN을 위한 scale factor들은 각 연구대상지별 지형성장곡선함수로부터 기울기 변화함수 곡선을 도출하여 결정하였다. 즉, Figure 5의 지형성장곡선함수에서 각 grid size에 해당하는 기울기 함수는 Figure 6과 같은 형태가 된다. 이 그림의 지형성장곡선은 grid size를 50 m단위로 증가시켜감에 따라 변화

Table 3. Scale factor by sites.

Study site	Grid scale (m)	SN scale (m)	LN scale (m)
Site 1	10	50	400
Site 2	10	50	350
Site 3	10	50	250

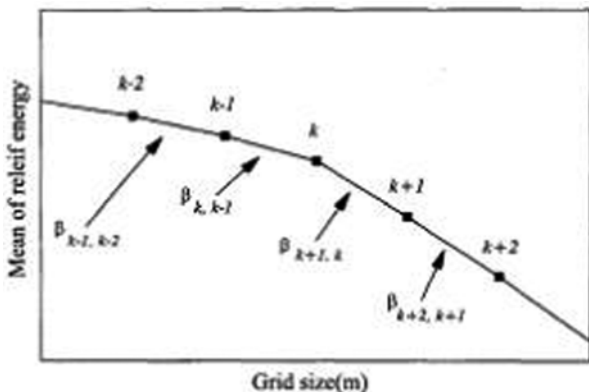


Figure 4. Diagram of procedure for calculating change in slope gradient(δ) at point k (Philip and Steven, 1998).

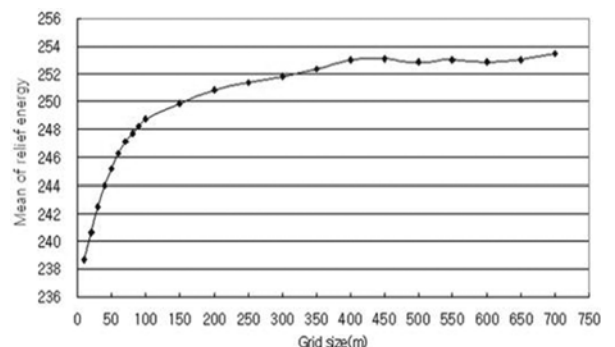


Figure 5. The revised hypsometric curve (site 1).

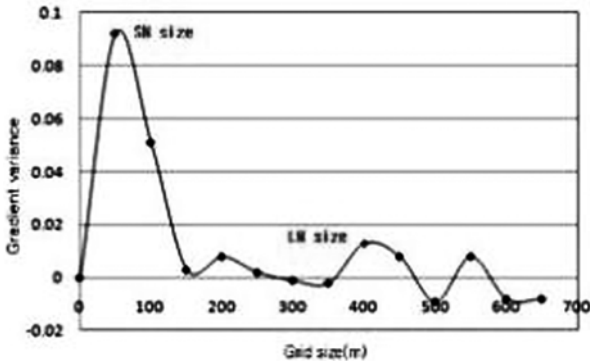


Figure 6. The Gradient variance (δ) curve (site 1).

는 대상지역의 평균 기복량으로 산출된 것이며, 이 함수로부터 각 grid size에 따른 기울기의 변화(δ)를 함수관계

로 표현한 것이 Figure 6에 나타나 있다. 이와 같은 방식으로 각 연구대상지별 기울기변화함수를 도출하고, 이 곡선의 극값들 중에 가장 큰 기울기변화도를 가지는 두 지점에 해당하는 grid size를 각각의 SN 및 LN scale로 결정하였으며 그 결과가 Table 3에 제시되었다. SN scale은 모든 대상지에서 50 m로 동일하게 나타났으나, LN scale의 경우 대상지 1은 400 m, 대상지 2는 350 m, 그리고 대상지 3은 250 m로 다르게 나타났다.

2. TPI의 산출

Table 3에서 제시된 대상지별 scale factor를 적용하여 Figure 7에서와 같이 각 대상지별 SN 및 LN scale에서의 TPI 값을 산출하였다. SN scale에서는 대상지역의 전체 지

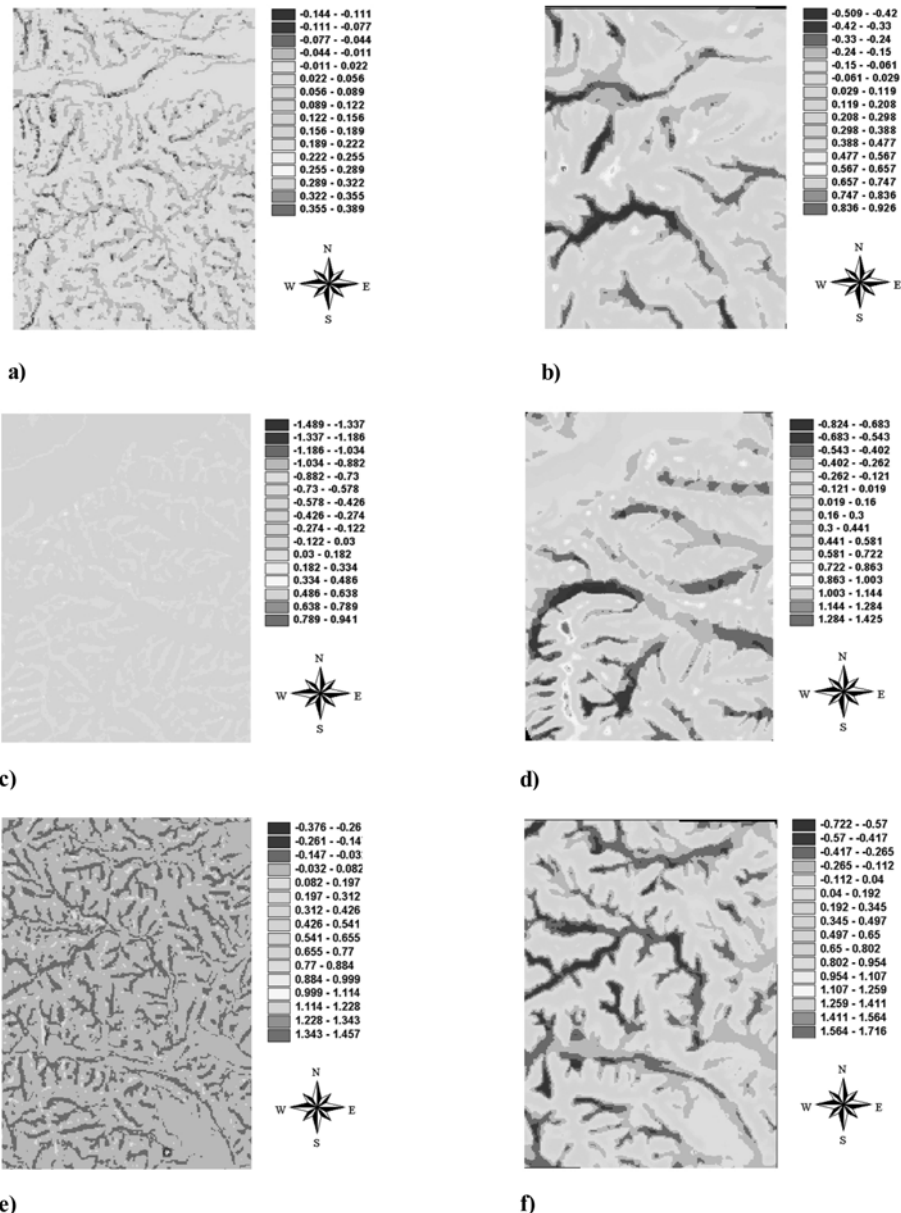


Figure 7. Small neighborhood TPI and large neighborhood TPI. (a) 50 m TPI (site 1); (b) 400 m TPI (site 1); (c) 50 m TPI (site 2); (d) 350 m TPI (site 2); (e) 250 m TPI (site 3); (f) 50 m TPI (site 3).

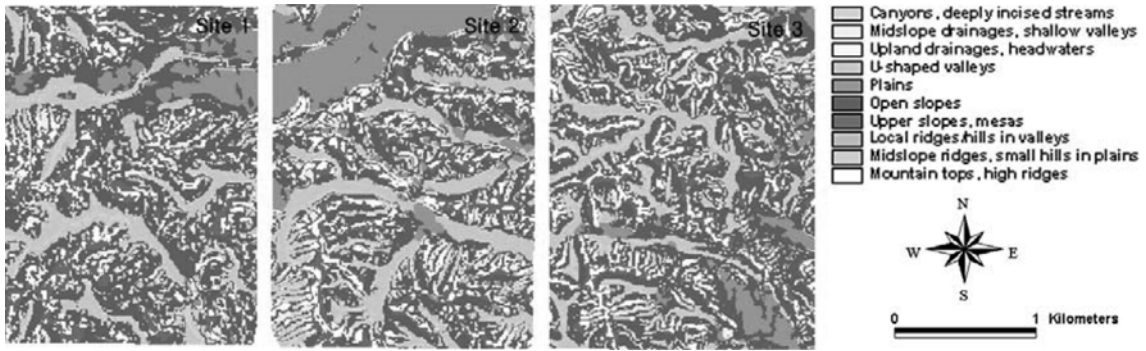


Figure 8. Landform classification by the site.

형의 윤곽보다는 좀 더 작은 규모에서의 지형의 변화를 탐지하게 되며 LN scale에서의 분석 결과와 비교했을 때 계곡부나 능선부 등의 지형이 상대적으로 좁고 가느다란 선의 형태로 나타나게 된다. LN scale에서는 Figure 7의 결과에서와 같이 대상지형의 미세한 변화는 탐지할 수 없으나 계곡부나 능선부 등의 전체적인 윤곽이 잘 나타나게 된다.

3. 산지지형 구분

산지지형 구분을 위하여 Table 3에 제시된 대상지별 scale factor를 적용하여 각 대상지역에 대한 지형분류를 실시한 결과 Figure 8의 지형분류도가 작성되었다. Weiss(2001)의 분류체계는 각 지형의 형태적 특성에 따라 Table 4와 같이 계곡부, 능선부, 사면부 그리고 평지지형

Table 4. Frequency table of landform categories.

Landform categories		Site 1	Site 2	Site 3
Valley region	Canyons	5.8%	5.1%	6.7%
	Shallow valleys	7.7%	7.6%	7.8%
	Upland drainages	0.3%	0.2%	0.1%
	U-shaped valleys	9.9%	11.0%	9.6%
Plains region	Plains	6.2%	17.4%	5.3%
Slope region	Open slopes	45.4%	34.2%	46.0%
	Upper slopes	10.8%	9.4%	9.4%
Ridge region	Hills in valleys	0.2%	0.0%	0.0%
	Midslope ridges	7.2%	7.0%	6.4%
	High ridges	6.5%	8.0%	8.6%
Total		100%	100%	100%

으로 분류할 수 있다.

이 표에 나타난 지형분류 결과를 보면 평지, 산록사면 그리고 산복사면 지형이 전체지형의 약 60%를 차지하고 있다. 심곡, 천곡, 그리고 U형 계곡 등의 계곡부 지형은 전체의 약 25%, 능선사면 및 능선 등의 능선부 지형은 전체의 약 15%를 차지하는 것으로 나타났으며, 산지수로 및 곡저구릉은 거의 없는 것으로 나타났다.

4. 적용성 검증

Scale factor의 적용성을 검증하기 위하여 지형분류도와 종단면도상의 지형분류결과를 비교한 결과가 Table 5와 제시되었다. 이 표에 의하면 종단면도상에 나타난 각 연구대상지별 평균 능선의 수는 대상지 3(6개) > 대상지 2(4.5개) > 대상지 1(3.6개)의 순으로 나타났으며, TPI를 이용한 지형분류도상에서는 대상지 3(6.5개) > 대상지 2(5.1개) > 대상지 1(4.2개)의 순으로 매우 유사한 결과를 보이고 있다. 또한, LN scale은 각 연구대상지역의 능선 간 평균거리와 거의 일치하는 경향을 보이는 것으로 나타나 대상지역의 지형특성을 충분히 반영하고 있음을 알 수 있다.

결론

본 연구는 국내 산악지형의 해석을 용이하게 하기 위한 방안으로 TPI를 이용한 지형분류 기법을 소개하고 적합성을 검증하기 위해 수행되었다. TPI를 이용한 지형분류의 경우 대상지형의 특성을 고도와 경사도에 근거하여 정

Table 5. Statistics of terrain conditions measured using contour maps and estimated using TPI.

	Measurement using contour maps		Estimation using TPI		Mean distance between the ridges.	LN scale(m)
	Mean No. of ridges	Mean No. of valleys	Mean No. of ridges	Mean No. of valleys		
Site 1	3.6	3.6	4.2	3.9	402 m	400 m
Site 2	4.5	4.9	5.1	5.7	360 m	350 m
Site 3	6	6.2	6.5	6.8	270 m	250 m

량화시킬 수 있는 장점이 있다. 또한 서로 다른 scale에서의 TPI를 고려해 지형분류를 실시하기 때문에, 지형의 크고 작은 변화를 모두 탐지할 수 있어, 우리나라와 같이 기복이 심하고 다양한 산악지형이 복합적으로 나타나는 경우에도 매우 효율적인 접근방안인 것으로 판단된다. 그러나 기존의 연구에서는 정량적 지형분석에 있어 분석의 기초가 되는 scale factor를 선정하기 위한 객관적인 알고리즘이 부재하여, 일관적인 지형분류결과를 도출할 수 없었다.

본 연구에서와 같이 지형성장곡선의 기복량 변화패턴을 이용하여 scale factor를 선정할 경우, 대상지역의 지형 특성에 맞는 분석단위를 설정할 수 있으며 지형분류 시 지형분류자에 의한 주관적인 개입을 제한할 수 있어 객관적인 지형분류 결과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

다만, 본 연구에서는 지형분류 시 Weiss(2001)의 분류기준을 적용하였으나, 이러한 분류기준이 우리나라의 산악지형 분류에 적합한 것인지에 대한 검토가 필요할 것이다. 따라서 추후 연구에서 우리나라의 산악지형을 정량화하기 위한 명확한 분류체계에 대한 기초연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 박경훈, 김경태, 광행구, 이우성. 2007. Topographic Position Index를 활용한 산지습지 분포예측. 한국지리정보학회, 10(1): 194-204.
2. 성춘자, 2003. GIS를 이용한 지형요소 분석과 지형분류에 관한 연구. 국토지리학회, 37(2): 155-161.
3. 우충식, 이창우, 정용호. 2008. 산사태 발생지 예측을 위한 Topographic Position Index의 적용성 연구. 한국환경복원녹화기술학회, 11(2): 1-9.
4. 이금삼, 조화룡, 1998. GIS기법에 의한 한국의 고도기복량 분석. 대한지리학회지 33(4): 487-497.
5. Blaschke, T. and Strobl, J. 2001. What's wrong with pixel? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. GIS-Zeitschrift fur Geoinformationssystem, 6: 12-17.
6. Burnett, C. and Blaschke, T. 2003. A multi-scale segmentation/object relationship modeling methodology for landscape analysis. Ecol. Model, 168: 233-249.
7. David D.R. and Glenn, D.M. 1997. Resource assessment in forest landscapes, John Wiley & Sons, Inc.
8. Dickson, B. and Beier, P. 2007, Quantifying the influence Of Topographic Position On Cougar Movement In Southern California. Journal of Zoology, 271(3): 278-287.
9. Dikau, R., Brabb, E.E. and Mark, R.M. 1991. Landform calssification of New Mexico by computer. U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey. Open-file report.
10. Draugut, L. and Blaschke, T. 2006. Automated classification of landform elements using object-based image analysis. Geomorphology, 81: 330-344.
11. Gerrard, J. 1992. Soil Geomorphology, Chapman & Hall, London.
12. Jenness, J. 2006. Topographic Position Index(tpi_jen.avx) v.1.2. Jenness Enterprises. Available at: <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>.
13. Lars, B. 1998. GIS analysis of macro landform. Presented at the 10th colloquium of the Spatial Information Research Centre, University of Otago, New Zealand.
14. McBratney, A.B., De Gruijter, J.J. and Brus, D.J. 1992. Spatial prediction and mapping of continuous soil calsses. Geoderma, 54: 39-64.
15. Michael, P.S., A-Xing Zhu, James, E.B., and Cynthia, S., 2006. The effects of DEM resolution and neighborhood size on digital soil survey. Geoderma, 137: 58-69.
16. Philip, T.G. and Steven, E.F. 1998. An automated approach the classification of the slope units using digital data. Geomorphology, 21: 251-264.
17. Ruhe, R.V. 1975. Geomorphology. Houghton, Boston.
18. Skidmore, A.K. 1990. Terrain position as mapped from a gridded digital elevation model. Int. J. Geographical Information Systems. 4: 33-49.
19. Speight, J.G. 1990. Landform. In 'Australian Soil and Land Survey Field Handbook' 2nd Ed. (McDonald, R.C., Isbell, R.F., Speight, J.G., Walker, J.,and Hopkins, M.S. Eds.). Inkata Press, Melbourne.
20. Weiss, A.D. 2001, Topographic Positions and Landforms Analysis (Conference Poster). (San Diego, California: ESRI International User Conference). Indus Corporation.

(2009년 8월 5일 접수; 2009년 10월 6일 채택)