

# DEM을 이용한 음영기복도 제작에 관한 연구

## Creating the Shaded Relief Map using DEM

장민철\* · 전철민\*\* · 최윤수\*\*\*

Chang, Min-Chol · Jun, Chul-Min · Choi, Yoon-Soo

### 1. 서론

음영기복도(Shaded Relief Map)는 3차원의 형태를 가진 지형을 2차원의 평면 위에 자연스럽게, 직관적인 방법으로 표현한 지도이다. 한마디로 음영기복도는 높이값을 갖는 3차원의 데이터와 빛의 방향, 음영, 색조를 이용하여 지형을 알아보기 쉽도록 제작한 지도라 할 수 있다. 음영(陰影)은 불투명한 물체(여기서는 지형)에 빛을 쬐면, 면의 일부(주로 반대쪽)는 광선이 닿지 않아 어두워지고 또한 빛이 물체에 가리어지기 때문에 다른 물체의 표면에도 어두운 부분이 발생하는 현상을 말한다. 기복(起伏)은 지세(地勢)의 높·낮이를 일컫는 말이지만 지도에 있어서는 지형의 모양 및 지표면의 특징까지도 표현되고 있다. 이것은 높이를 나타낸 점선의 이음인 등고선(等高線)에 의해서 표현된다. 또한 이 밖에도 음영기복도를 제작하기 위해서는 여러 가지의 요소들이 필요하고 이러한 요소들을 어떻게 사용하느냐가 효과적인 음영기복도 제작에 영향을 미친다. 본 연구에서는 음영기복도를 디자인하고 제작하는데 필요한 규칙 및 지침, 역사, 사례, 기술적인 조언 등을 통해 보다 효과적인 음영기복도 제작에 관한 방향을 제시하고자 한다.

### 2. 음영기복도의 관련 기술

음영기복도를 제작하는 데에는 여러 기법들이 있다. 특히, 오늘날에는 컴퓨터 소프트웨어 및 하드웨어의 빠른 발전으로 인해, 손으로 그리는 작업은 드물고 Photoshop과 같은 Raster graphics software를 이용한다. DEM(Digital Elevation Models) 데이터가 없을 경우에는 Raster 소프트웨어를 이용하여 작업을 할 수도 있다. 그와 반면에 컴퓨터를 사용하지 않을 경우, Airbrush라는 기술을 사용하면 양질의 기복(起伏)을 만들 수 있다. 또한 현재는 사용되지 않지만 Wenschow<sup>1)</sup>라는 기술도 있다. 그 중에 분석적 음영기복도(Analytical Shaded Relief)는 DEM으로부터 만들어진 음영기복을 일컫는 말이다. 분석적 음영기복도는 그대로 사용하는 것 보다는 Raster graphics software에서 수정을 하여 보다 좋은 효과를 낼 수 있다. 본 연구에서는 음영기복도를 효과적으로 제작하는 방법 중에 분석적 음영기복과 Raster graphics software를 이용한 방법을 중심으로 하여 분석해 보고자 한다.

DEM으로부터 생성된 음영기복도 자체는 수작업으로 이루어진 지도에 비해 지형의 중요한 특징에 대한 표현력이 떨어진다. 일정한 간격, 일정한 높이 값으로 실 데이터가 표현이 되므로 지도의 중요한 특징인 산마루, 골짜기 같은 지형이 명확치 않게 표현되는 경우가 많

\* 서울시립대학교 지적정보학과 석사과정 · E-mail: [chamic@freechal.com](mailto:chamic@freechal.com)

\*\* 서울시립대학교 지적정보학과 부교수 · 도시 및 지역계획 박사 · E-mail: [cmjun@uos.ac.kr](mailto:cmjun@uos.ac.kr)

\*\*\* 서울시립대학교 지적정보학과 부교수 · 공학박사 · E-mail: [choiys@uos.ac.kr](mailto:choiys@uos.ac.kr)

1) 1925경에, 독일의 Karl Wenschow는 음영기복도를 만드는 과정을 개발하였는데, 그의 이름을 따서 Wenschow 기법이라 한다. 그 과정은 회반죽의 블록을 조각한 삼차원의 지형모형을 요구한다.

다. 하지만 DEM은 음영기복도 제작에 출발점으로서 유용하게 활용될 수 있다.

우선 음영기복 전문 소프트웨어나 GIS 소프트웨어를 이용하여 DEM으로부터 음영기복도를 생성한 후, Raster graphics software를 사용하여 효과를 높일 수 있다. 즉, 작업순서를 정리하면, 우선 DEM 등의 데이터 셋을 import하고 변환작업을 하여 생성된 음영을 Raster graphics software를 이용하여 이미지를 향상시키는 작업으로 이루어진다.

### 3. 음영기복도의 디자인 요소

음영기복도는 매우 많은 노력이 필요한 작업이므로, 만족스러운 결과를 달성하기 위해서 기본적인 몇 가지의 지식을 필요로 한다. 다음은 음영기복도 제작에 관련하여 알려진 규칙과 가이드라인이다.

#### ① 등고선과 음영기복도의 일치성

GIS 소프트웨어에서 생성된 DEM을 이용한 음영기복도는 등고선과 일치해야 한다. 이것은 음영기복도를 만드는데 가장 중요한 규칙이라고 할 수 있다.

#### ② 기본 데이터

음영기복도의 제작을 시작하기 전에, 필요한 기본적인 관련 자료를 수집해야 한다. 준비해야 할 것으로는 등고선, 수계, 항공사진, 기존 지도들과 그 밖에 지형을 나타내는 관련 정보

들이다. 수계와 등고선은 후속단계들을 위한 것의 역할을 하므로 전체 음영 처리단계 동안 눈에 보이도록 해야 한다.

#### ③ 선별적인 음영표현

음영기복도는 비스듬한 조명 아래에서 지형 표면의 명암을 표현한다. 만약 지표가 균일한 색깔이라면, 음영기복도와 비슷한 3차원 음영 효과는 자연에서도 관찰할 수 있을 것이다. 그러나 드리워진 그림자, 반사광, 번쩍임 등은 자연에서 관찰할 수 있을지라도, 지도상에 그대로 표현할 경우 잘못된 해석을 가져다 줄 수 있기 때문에, 표현하지 않음으로써 음영기복도의 가독성(可讀性)을 높일 수 있다.

### 3.1 빛의 방향

빛의 방향은 음영기복도의 디자인에 있어서 매우 중요하다. 보통 북서쪽에서 빛이 비춘다고 가정할 경우가 많으며 남쪽에 광원(光源)이 있다고 가정하는 경우는 매우 드물다. 남쪽의 광원을 적용할 경우 왜곡되어 인지될 경우가 많은데, 예를 들어 극단적인 경우 산이 계곡으로 느껴지기도 한다.

남쪽의 광원을 둔 음영기복도를 사용하여도 지형을 선명하고 올바르게 표현되는 경우도 있다. 다음의 그림 1과 그림 2는 각각의 성공적인 사례를 예시한 것이다.

또한 전형적인 음영기복도의 최적의 빛의 연직각은 산마루와 골짜기를 대략 수평에서부



그림 1. 북서 광원  
"Graubunden" (section), 1:250000, 1945.



그림 2. 남동 광원  
"Carte de voyage des grisons" (section), 1:250000, 1932.

터 45의 각도로 비추는 것이다. 산마루, 골짜기 등 주어진 지형의 특성에 맞게 조명의 방향을 조절함으로써 중요한 지형적 특징을 적절하게 나타낼 수 있다.

### 3.2 지형

비탈, 언덕과 같은 중요한 형상은 멀리서도 명료하게 보이게 마련이다. 이렇게 서로 다른 배수 유역으로 구분되어지는 지형들은 음영 기록에서도 어두운 부분과 밝은 부분으로 구분된다. 단순한 규칙을 적용 한다면, 음영기록도의 표면에 있는 모든 점에서 물을 떨어뜨리면 어떤 방향으로 흘러갈지가 분명히 나타나야 한다.

또한 큰 지형 형상은 전체적인 구성을 보여주지만, 작은 지형은 상세한 특징을 나타낸다. 그림 3은 소축척에서 이와 같은 문제를 예시한다. 왼편에서는, 산만한 세부사항이 매우 많아, 추가 된 지형을 식별하기 어렵지만, 오른쪽 이미지는 같은 영역을 보여주지만 지형의 특징이 강조되어 있다. 작은 지형도 중요하지만 일반적으로는 우선 주된 지형에 중점을 둔다. 쉽게 파악할 수 있는 형상부터 시작해서 차츰 세부적인 곳으로 진행하여야 한다.

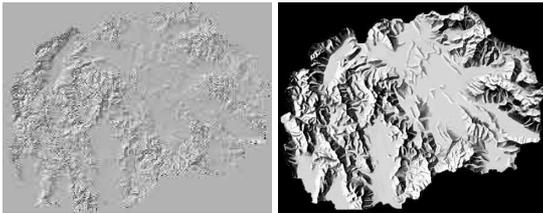


그림 3. Mecedonia

왼쪽: 자세한 DEMdmf 활용한 음영기록  
오른쪽: Raster graphics software를 사용 손질

### 3.3 평평한 영역을 위한 명암

음영기록도를 제작할 때 평지 지역을 얼마나 많은 명암을 사용해서 나타내야 하는 지에 대해 논란이 일곤 한다. 대부분의 지도에는, 경사지보다 평평한 영역에 시가화된 지역이 포

함되어 있는 경우가 많다. 그러므로, 어떤 경우에는 이러한 도면 요소들을 방해하지 않기 위해서 아예 평평한 영역에 색깔을 적용하지 않기도 한다. 그러나, 평평한 영역을 흰색으로 나타내면 몇 가지 문제가 발생한다. 언덕 부위들이 서로 연속되어 있지 않고 떨어져 있는 느낌을 주게 된다. 저지대에 색조가 없다면 저지대와 경사지가 서로 연속된 감이 떨어진다. 또한 인접되어 밝게 빛을 받는 경사지역은 저지대 흰색과 구분이 어렵게 된다.

그림 4에서는 약간 높은 대지(臺地)보다 평평한 지역이 더 어둡게 표현된 것을 보여준다. 경사부분이 전체지역을 특징지우면서 전체적으로 3차원적인 효과가 잘 나타나고 있다.



그림 4. 평평한 영역을 위한 명암

### 3.4 상공 투시법(Aerial Perspective)

상공에서의 투시도는 구름, 안개나 기타 대기의 입자 등으로 인해 자연 상태에서는 관찰되기 어렵다. 이러한 입자는 경관 상에 얇은 막을 형성하며, 관찰자로부터의 거리가 증가될수록 짙어지게 된다. 관찰자의 가까이 있는 지형은 서로 뚜렷한 대조를 보여주는데 반해 먼 지역의 지형은 서로 대조의 차이가 많이 나지 않는다. 음영기록과 함께 사용할 때, 상공 투시는 높은 산 정상 부위들과 저지대들을 구분하는 역할을 하게 되는데 이를 적용하게 되면, 산정으로 갈수록 대조 정도가 심해지고, 저지대로 갈수록 약해지게 된다. 가장 많은 대조가 있는 지역은 곧, 산봉우리를 나타낸다.

### 3.5 소축척

소축척에서는 음영기복도상에 산맥, 대지(臺地), 화산과 같은 중요한 지형을 강조해야 한다. 소축척 지도에서는 세밀한 기하학적인 표현은 가능하지도 필요하지도 않으며, 음영기복도를 성공적으로 표현하기 위해 어떤 지형요소를 강조해야 할지 알아야 한다. 중간부터 대축척까지의 등고선은 지형을 파악하기 위해 없어서는 안될 틀의 역할을 한다. 그러나, 소축척에서는 선이 너무 조밀하거나 뒤엉켜 있기 때문에 등고선을 지형의 틀로 이용하기가 적절치 않다. 이 때 시각적인 틀로 이용할 수 있는 것이 수계, 해안선, 배수유역경계, 능선, 대지 등의 지리학적 특징을 갖는 형상들이다. 소축척으로 갈수록 이러한 지형적인 구조선을 사용하는 것이 중요해진다. 따라서, 같은 영역이라도 매우 다른 방법으로 표현될 수 있다. 지형상의 특징을 어떻게 강조하는가는 제작자에게 달려있다.

### 3.6 기복 일반화

음영기복도에서는 축척에 따라 지형상의 특징이 다르게 표현되어야 한다. 일반화가 지나치게 되면 중요한 지형 요소를 잃게 되고, 반대로 세밀한 형태를 놓치지 않으려다 전체 구조를 파악하기 어렵게 되기도 한다. 음영기복도 일반화의 정도와 지도상의 요소들은 디자인적인 균형을 이루어야 한다.

그림 5의 두 이미지 중 왼편의 이미지는 오른편의 것보다 덜 상세하다. 하지만 상세한 정도가 음영기복의 우수성을 가리는 기준이 되지 않는다. 기복 일반화의 적정 수준은 주어진 지도의 디자인 목표와 사용자가 누구냐에 따라 다르다.



그림 5. 기복일반화

음영기복과 지형상의 요소들은 항상 서로 부합해야 한다. 예를 들어, 배수선은 음영기복의 골짜기 부분과 서로 맞아야 한다. 이것은 음영기복도의 일반화 정도와 지도상의 요소들의 표현이 부합하는 정도를 의미한다.

### 3.7 음영기복도의 색조 및 주제도

음영기복도의 색깔을 표현하는 방법에는 다음과 같이 몇 가지가 사용되고 있다. 해발 높이에 따라 색깔을 달리함으로써 3차원적 특성을 강조하는 Hypsometric(축고법), 특정 주제도의 정보가 음영기복도와 합쳐지게 되는 Thematic(주제도에 의한 것), 자연적인 지형 및 초목을 표현하는 Natural(자연적 방법), 노란 색조를 사용하여 빛을 받는 부위를 강조함으로써 3차원적 특징을 강조하는 Yellow Tone(노란색조), 하나의 gray-scale에서도 아름다운 색조를 도출해서 음영기복을 생성하는 Gray-scale shading(회색조 기복), 예술적인 선호에 따른 색깔선택으로 생생하게 3차원적 지형을 표현하는 Artistic(예술적인 방법) 등이 있다. 하지만, 음영기복도의 색깔사용에는 정해진 규칙이 없다. 지도 제작자는 더 인상적인 방법으로 음영기복도의 3차원의 외모를 강조하기 위해 색깔을 선택하게 되는데, 일반적으로 높이, 노출, 토지이용에 따라 달라진다.

## 4. 분석적 음영기복

분석적 음영기복(Analytical Shaded Relief)은 컴퓨터를 이용하여 DEM(Digital elevation model)으로부터 음영기복도를 생성하는 기법이다. 결과로서 산출되는 음영기복은 매우 상세함에도 불구하고, 읽기 쉽고 미적으로 질이 높은 지도를 얻기 위해 2차적인 작업을 하게 된다. 최근에는 Photoshop과 같은 Raster graphics software를 이용하여 처리를 함으로써 수작업과 유사한 효과를 내는 것이 가능해졌다. 음영기복도의 음영처리 효과는 두 개의 각, 즉, 향(向)과 경사로 결정된다. 경사는 특정 위치에서 최대 가파름이고, 향(向)은 이 최대 가파름 지점에서 수평상의 방향이다. 다음에서는 몇 가지 음영처리기법에 대해서도 알아본다.

#### 4.1 DEM(Digital Elevation Models)

분석적 음영기복도는 DEM을 필요로 한다. DEM은 자연 지형의 특정한 위치에 대해 높이 정보를 저장한 수치 표면이다. DEM은 Grid 나 TIN(Triangulated Irregular Network)의 두 가지 형태로 존재한다. Grid 형태로 되어 있는 DEM은 격자의 배열에 높이값이 저장되어 있으며, 마치 픽셀로 이루어진 Raster 이미지와 비슷하다. TIN은 불규칙하게 분산된 점에 높이 값을 저장하고 있으며, 이들을 삼각형으로 연결한 형태로 되어 있다. 그러므로, 삼각형들은 지형의 표면과 유사하게 표현된다. 그러나 TIN은 다루기가 까다로와 간단한 음영기복 프로그램은 일반적으로 TIN 대신에 Grid를 사용한다. 이 두 가지 모델에서는, 높이값이 존재하지 않는 지점에 대해 높이를 추정할 수 있다. 이러한 특성으로 인해 소프트웨어를 사용해서 임의의 정밀도를 갖는 지도를 생성하는 것이 가능하다.

#### 4.2 음영처리기법(Shading Methods)

DEM으로부터 생성된 분석적 음영기복도는 Raster 이미지 화일의 형태를 취한다. 기복 이미지에 있는 각각의 pixel은 DEM의 높이값으로부터 계산된 값이다. 이 값을 산출하는 데에는 두 가지 계산방법, Vector와 Difference가 있다. 대부분의 소프트웨어에서는 벡터기법을 사용하여 빛 방향을 조정할 수 있도록 기능을 제공한다. 벡터 기법은 지형 표면이 빛을 반사 하는 것을 모델링하기 위해 물리적, 경험적인 원칙을 사용한다. 많이 알려진 모델은 Diffuse Reflection이다.

Difference 기법은 그리드 형태로 된 DEM에 래스터 연산자를 적용한다. DEM으로부터 산출된 일련의 회색톤 이미지들을 논리, 산술 연산자를 통해 결합하는 과정이 포함된다. 이 방법은 상대적으로 조정하기 어려울 뿐만 아니라 더 나은 결과를 산출하지 않으므로 잘 사용되지 않는다.

##### ① Illumination Models

조명 모델은 Local model과 Global model 두 가지로 나누어진다. Local model은 단지

물체와 광원 사이의 상호작용만을 고려하는 반면, Global model은 반사, 투과율, 굴절을 포함하여 물체들 사이에 빛이 어떻게 작용하는지를 고려한다.

##### ② Diffuse Reflection

Diffuse reflection은 표면 표준과 빛 벡터 사이의 코사인각에 비례하는 값으로 각 픽셀에 gray 값을 할당한다. Diffuse reflection은 쉽고 빠르게 계산되므로 컴퓨터 그래픽을 위해 넓게 이용된다. 그러나, 산간 지역에서 분석적 음영기복과 수작업의 음영기복을 비교해보면 분석적 음영기복이 종종 세부 사항을 지나치게 포함함을 보여 준다.

##### ③ Aspect-Based Shading

선호되는 수작업 유형은, 경사 정보를 무시하고 단지 향에 기반하여 음영을 계산함으로써 표현하는 것이다. 때때로, 다양한 GIS 애플리케이션은 향 기반의 음영과 Diffuse Reflection을 결합한다. 향 기반의 음영은 식(1)에 따라서 계산된다.

$$\text{Gray Value} = \frac{\text{Cos}(\alpha) + 1}{2} \quad (1)$$

(여기에서  $\alpha$ 는 빛의 방향의 방위각과 향(向) 사이의 각)

##### 변형된 코사인 음영 방정식

(Moeller and Kimerling, 1990)

향(向) 기반 음영은 산지의 영역을 그리는데 아주 적합한 반면 Diffuse Reflection은 평평하고 굴곡이 있는 저지대를 더 정확하게 표현한다. 지형에서 경사의 기능을 이용하면 이 두 방법의 결합이 가능하다. 첫째, DEM으로부터 얻어진 경사 정보를 포함하는 matrix값을 Mean 또는 Median 필터를 이용하여 완만하게 만든다. 그리고 나서, Diffuse Reflection과 향기반 음영은 그림 6의 그래프에 따라 합쳐진다. 향기반 음영과 Diffuse Reflection을 조합한 대화식의 프로그램에서 사용자는 a와 d를 선택하여 도형의 모양을 조정할 수 있다.

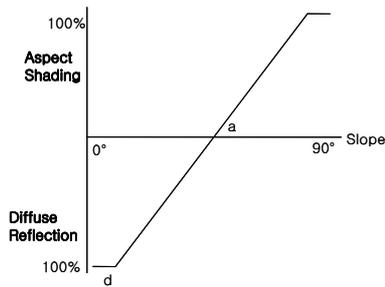


그림 6. 경사 함수 그래프

### 4.3 지역조정

지역조정은 CAD에서 도입된 fence라는 개념을 사용하여 빛 방향을 포함하는 몇 개의 음영변수를 지역적으로 조정하는 것이다. Fence를 사용하기 위해 사용자는 DEM의 부분을 격리시키기 위한 경계부분을 그린다. 그 경계 안에서 매개변수를 조정하여 음영기복도의 외모를 국지적으로 조정할 수 있다. 즉 음영기복도를 생산할 때 중요한 지형의 빛 방향과 밝음을 선택적으로 조정해야 한다. 그림 7은 fence 안에 빛 방향을 조정하기 전과 후이다. 전체적으로 북서쪽에서 빛을 받는 음영기복도에서 fence 내부만을 남서쪽에서 빛을 줌으로써, 북서 방향으로 되어 있는 산등성이가 보다 명확하게 표현되었다.



그림 7. 빛 방향의 국지적 조정

### 5. 결론

본 연구에서는 효율적인 음영기복도를 제작하는데 필요한 디자인 요소와 분석적 음영기복의 제작원리에 관해 알아보았으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

수작업을 통해 제작한 음영기복도는 범용적

으로 사용되어지는 소프트웨어를 통한 산출물보다 지형적 특성을 더 알기 쉽고 미적으로도 질이 높다. 최근에는 IT기술의 발전으로 인해 수작업으로 만든 음영기복보다 상세한 결과를 신속하게 생성시킬 수 있게 되었다. 그러나 소프트웨어를 통해 자동으로 생성된 지도는 곧바로 사용되기에는 지형적 특성의 표현이 부족하다. 그래서 Raster graphics software를 이용하여 색조 처리, 빛의 방향의 조절, 지역 조정 등을 통하여 효과적인 음영기복도를 제작할 수 있다.

음영기복도의 사용목적이나 사용자에 따라 빛의 방향, 지형, 축척, 색조 등을 알맞게 이용하여 필요한 지형의 특징이나 정보 등을 효과적으로 전달할 수 있음을 알 수 있었다.

### 참고문헌

1. Imhof, E. (1982). "Cartographic Relief Presentation." New York and Berlin: Walter de Gruyter.
2. Mellmann, P. (1988). "Ausbildung in schattenplastischer Geländedarstellung. Ein Erfahrungsbericht." Kartographische Nachrichten, 1.
3. Barnes, D. (2002). "Using ArcMap to Enhance Topographic Presentation." Cartographic Perspectives, Journal of the North American Cartographic Information Society, No. 42, spring 2002.
4. Patterson, T. (1997). "A Desktop Approach to Shaded Relief Production." Cartographic Perspectives, NACIS, 28: 38-40.
5. Price, W. (2001). "Relief Presentation: Manual Airbrushing Combined with Computer Technology." The Cartographic Journal, Vol. 38 No. 1.
6. Hobbs, F. (1999). "An investigation of RGB mult-band shading for relief visualisation." JAG, vol. 1 - 3/4.
7. <http://www.reliefshading.com>