

# 인공위성영상을 이용한 수치표고모형 생성

신 동 석 (한국과학기술원 인공위성연구센터 선임연구원)

## 1. 서 론

홍수와 같은 하천재해를 분석, 관리하기 위한 유출 모형 적용 시 중요한 입력자료로써 정확한 수치표고 모형(Digital Elevation Model : DEM)을 들 수 있다. DEM이란 특정한 지도투영법을 사용하여 2차원 평면으로 설정된 지표의 일정한 격자 위에 그 격자에 해당되는 지표의 높이 값을 부여한 디지털 라스터 자료로서 일종의 수치화 된 지표고도 정보를 포함한 영상자료라고 할 수 있다.

DEM을 생성하는 방법은 여러 가지가 있으나 그 정확도, 적용 범위, 생성 기간 및 비용에 따라 최적의 방법을 선택하는 것이 바람직하다. 가장 전통적이고 일반적으로 사용되는 방법은 국가기준 지형도의 등고선으로부터 DEM을 생성하는 것으로서 이를 위해서는 우선 지형도의 조밀한 등고선을 수치화하여 벡터 자료로 전환하는 작업이 필요하다. 이는 시간과 비용이 매우 소요되는 작업이나 수 년전부터 국립지리원에서는 NGIS 사업을 통해 지형도의 수치화를 진행해 왔고, 현재 국토의 상당부분에 해당되는 지역의 1:5,000, 1:25,000 수치지도를 제작, 공개하고 있는 상태이다. 하지만 이렇게 제작되는 DEM은 우리나라의 지형도 자체가 가지고 있는 여러 가지 부정확성을 포함할 수밖에 없다. 이러한 부정확성은 실측된 삼각점, 수준점, 표고점 자체의 부정확성, 수평측량 및 수 준측량의 분리에 따른 부정확성, 기준 원점의 오차, 도면 표기 오류, 수치화 과정의 오차, 지형도 축척에 따른 오차 등 매우 다양하다. 또한 지형고도의 변형에 따른 등고선의 개정작업이 거의 이루어지지 않았기

때문에 정확한 최신 지표고도 자료를 획득하는 목적으로는 부적합한 경우가 많다.

가장 정확한 지표고도 정보를 얻는 방법으로는 GPS(Global Positioning System) 측량을 이용하는 방법이 있겠으나 이는 산개된 지점의 좌표를 얻는 방법으로서 넓은 지역의 균일한 지표고도인 DEM을 생성하는데 사용될 수는 없다. 최근에 촬영된 항공영상을 사용하여 DEM을 생성하는 방법도 많이 이용되고 있으나 이는 해석도화기라는 장비를 사용하는 전문적인 기술이 필요하며 또한 많은 시간과 비용이 소요된다. 또한 항공촬영 자체의 비용 및 촬영지역 제한, 촬영에 필요한 여러 가지 국내 법적인 복잡한 절차 등의 문제도 안고 있다.

지형도에서 DEM을 추출하는 방법은 이미 제작된 정확한 최신 지형도가 존재해야한다는 가정이 있다. GPS 측량 및 항공영상을 사용하는 방법은 지상이나 기상에서 그 지역을 접근할 수 있어야 한다. 따라서 이러한 방법들을 사용하여 북한과 같은 접근이 불가능하거나 어려운 지역에 대한 DEM을 생성할 수는 없다.

기존에 사용되었던 이러한 방법들의 한계를 극복할 수 있는 정확한 최신 DEM 생성 방법으로서 인공위성 영상을 이용하는 연구 및 기술개발이 진행되어 왔다. 인공위성은 "open-sky"라는 국제 규범에 따라 국경을 초월하여 어느 지역이든 촬영할 수 있으며, 최근 위성 및 센서 개발기술의 발달에 따라 1m급 해상도의 상용 위성영상이 곧 출현할 예정이어서 지역에 관계 없는 정확한 최신 DEM을 생성하는데 매우 유용하다. 또한 위성은 주기적으로 촬영된 영상을 제공하기 때문에 여러 영상을 사용하여 DEM 생성의 오류를 줄일

수 있고, 항공영상의 사용과 비교해 볼 때 저렴한 가격, 넓은 촬영범위, 제한 없는 촬영지역 등 많은 장점을 가지고 있다. 또한 해석도화기와 같은 장비의 사용이 아닌 디지털 영상 처리 기술을 이용함으로써 DEM 생성 시간을 크게 단축할 수 있다.

본 논문에서는 위성영상을 이용한 DEM 생성 방법을 개략적으로 설명하며 각 과정에서의 중요하게 고려해야 할 점, 문제점, 한계 등을 기술한다.

## 2. 본 론

일반적으로 영상은 3차원 공간의 대상을 2차원 평면에 투영하여 얻어진다. 하지만 특정한 대상 물체를 다른 각도로 촬영한 스테레오 영상을 이용하면 초점으로부터 대상 물체까지의 거리 정보를 얻을 수 있고 따라서 3차원 공간을 복원할 수 있다.

그림 1에서 보는 바와 같이 3차원 공간 상의 한 점을 두 개의 다른 각도로 촬영하면 두 영상에서 나타나는 점의 상대적인 위치는 달라지게 된다. 여기서 B를 기선(baseline), f를 초점 거리라고 하고, 만일 X축이 기선과 평행하다고 하면 초점에서 물체까지의 거리 z는 두 영상에서의 시차( $x_2-x_1$ )로 구해질 수 있다.

$$z = \frac{fB}{(x_2-x_1)} \quad (1)$$

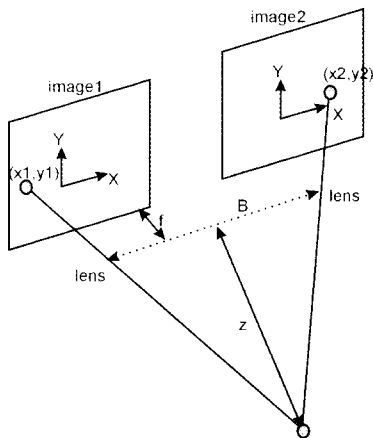


그림 1. 스테레오 비전의 원리

만일 물체가 지상에 위치하고 두 렌즈가 위성에 탑재된 카메라라고 생각한다면 스테레오 위성영상에서 나타나는 각 점의 시차를 이용하여 위성으로부터 지상물체까지의 거리를 유추할 수 있고 역으로 지상고도 기준으로부터 지상물체의 높이를 유추할 수 있다

이렇게 스테레오 위성영상으로부터 지표의 높이를 추출하는 방법은 크게 세가지 과정으로 나뉘어 진다.

- 두 영상(스테레오 쌍)에서 동일한 점을 찾아내는 과정
- 센서, 궤도, 지구의 기하학적 모델을 이용하여 시차로부터 높이를 계산하는 과정
- 보간법, 편집을 통해서 산개된 높이 값으로부터 DEM을 생성하는 과정

### 2.1 스테레오 영상 정합(stereo matching)

두 영상에서 형태가 뚜렷하게 표현되는 점을 찾아내는 가장 정확한 방법은 눈으로 보고 결정하는 것이다. 하지만 두 영상에서 수백만개의 점들을 눈으로 정합시키는 것은 불가능하기 때문에 자동으로 영상을 정합시키는 여러가지 알고리즘들이 개발, 사용되고 있다(Shin, 1994).

영상정합 방법은 크게 특징기반정합(feature-based matching) 방법과 영역기반정합(area-based matching)방법으로 나뉘어 진다. 특징기반 정합은 영상 쌍에서 먼저 선, 에지, 특징점 등을 추출한 뒤 그

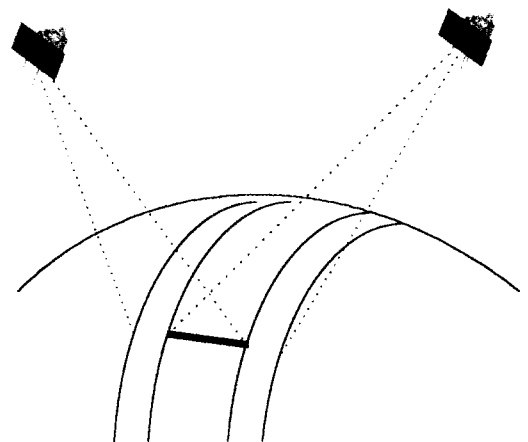


그림 2. 스테레오 위성영상 촬영

정보를 사용하여 영상 쌍 내의 동일한 특징점을 찾아내는 방법이다. 이는 뚜렷한 에지를 가지고 있는 영상을 정합시키는데 매우 유용하지만 조밀한 DEM을 생성하기에는 거의 사용되지 않는다. 예를 들어 위성영상 내의 산악지역과 같은 경우 길, 건물 등의 특징이 나타나 있지 않기 때문이다. 하지만 조만간 상용위성영상의 해상도가 1m까지 떨어지는 이 시점에서 도심지역의 DEM(건물의 높이 포함)을 생성하기 위해서는 특징기반정합 방법을 사용해야 할 것이다.

영역기반정합 방법에서는 한 점을 중심으로 일정범위 영역 내의 화소 값들을 사용하여 상대 영상 내의 대응영역을 찾는다. 따라서 특징이 없는 어떠한 점이라도 그 점을 중심으로 하는 영역의 화소값이 특정 패턴을 가지고 있다면 상대 영상 내에서 그 패턴을 찾을 수 있다. 물론 강, 호수, 사막과 같이 영역 내 모든 화소값이 거의 유사한 경우 이 방법은 사용될 수 없다. DEM을 생성하기 위하여 거의 영역기반정합 방법을 사용하지만 이 방법은 특징기반정합에 비해 수행시간이 길고, 높이가 갑자기 변하는지점(height discontinuity)에서 오류를 동반한다는 단점을 가지고 있다. 이러한 갑작스러운 높이변화는 1m급 영상 내의 건물경계 등에서 많이 일어나므로 이 경우 특징기반정합 방법을 병행해야 할 것이다.

자동 알고리즘이 정합을 수행하는 것은 필연적으로 한계가 있으며, 이 한계는 주로 두 영상의 상이성에서 기인한다. 이러한 상이성의 원인은 크게 스테레오 영상 쌍의 촬영시각 차이 및 촬영각도 차이로 나눌 수 있으며 그 원인에 따른 결과, 해결 방향을 정리하면 다음과 같다.

### 1) 촬영시각의 차이

그림 2에서 본 바와 같이 스테레오 영상 쌍을 얻기 위해서는 일반적으로 위성의 진행방향과 수직으로(쉽게 말해서 옆으로) 기울어진 방향으로 촬영한다. 이러한 방법을 across-track stereoscopy라고 하며, 이 경우 두 영상은 위성이 다른 궤도를 돌 때 촬영된 영상이다. 따라서 영상 촬영시각의 차이는 궤도의 성질상 최소한 하루 이상이며, 실제로 위성촬영 프로그램

을 사용자가 직접 요청하기가 어렵고 구름 등이 덮힐 경우 1개월에서 수개월이 되는 것이 일반적이다. 따라서 이러한 기간 중에 발생하는 지형지물의 변화, 산림 및 농지의 변화가 매우 심각하기 때문에 영상의 많은 부분이 다른 화소값 분포를 갖게 된다. 현실적으로 촬영되어 저장된 원하는 지역의 깨끗한 스테레오 영상 쌍을 찾으면 1개월 이하의 시각차이를 갖는 영상 쌍은 거의 없으며, 계절에 따른 지표변화를 최소화하기 위하여 정합을 수행하는 것이 일반적이다. 이러한 시각차를 없애기 위해서 along-track stereoscopy, 즉 진행방향으로 앞뒤로 촬영함으로써 거의 실시간 스테레오 영상을 제공하는 몇 고해상도 위성들이 조만간 발표될 예정이다.

### 2) 촬영각도의 차이

영상의 시각차이가 거의 없다고 하더라도 스테레오 영상은 다른 각도에서 촬영된 영상이어야 한다. 다른 각도에서의 촬영된 영상은 대기영향, 대상물의 반사특성에 좌우되며, 실제로 수직으로 촬영된 영상에서 주위의 눈발보다 밝게 보이던 눈두렁이 30도 각도에서 촬영된 영상에서는 더 어둡게 보이는 경우도 자주 발생한다.

1m급 해상도의 영상에서는 건물의 윗부분과 옆부분이 보이게 되므로 이러한 영향이 더 심각하다고 할 수 있다. 이러한 문제는 촬영각도 및 태상각도에 대한 대기영향 분석, 여러 대상물의 방사학적 반사도의 변화 및 기하학적 성질을 모두 분석함으로써 해결될 수 있을 것이다.

## 2.2 카메라 모델링

카메라모델은 영상정합에서 얻어진 시차를 높이값으로 변화시켜주기 위해 필요하다. 이는 영상촬영 당시 위성(초점)의 위치, 촬영각도 등의 기하학적 모델을 정확히 구하는 과정으로서, 정확한 카메라모델을 구하기 위해서는 필연적으로 정확한 지상제어점(ground control point)을 사용해야 한다.

카메라모델은 초기에 스테레오 항공영상에서 높이

를 추출하기 위해서 개발되었다. 이러한 모델은 공선 방정식(collinearity equation)을 기반으로 하여 이루어졌으며 스테레오 항공영상으로부터 지형의 높이를 추출하는 해석도화기에 적용된다. 하지만 위성 카메라라는 항공카메라와는 달리 선형 pushbroom형태로 궤도의 진행에 따라 영상을 촬영하고, 위성영상과 같이 폭이 넓은 경우 지구의 곡률, 자전 등을 고려해 주어야 하므로 기존의 공선방정식을 그대로 사용할 수 없다. 따라서 위성영상을 위한 여러 가지 카메라모델이 역시 개발되어 사용되고 있다.

지금까지 개발되어 발표된 여러 카메라모델들은 실제 완벽한 물리적 카메라모델을 얼마나 단순화했는가에 좌우된다. 실제 위성의 궤도, 자세, 지구모양, 센서 내부의 기하학적 구조 등은 매우 복잡한 식으로 표현되므로 이러한 물리적모델에서 사용되는 미지 파라미터들을 지상제어점으로부터 결정하는 작업은 매우 복잡하다. 따라서 각 모델에서는 원하는 정확성에 크게 영향을 끼치지 않을 파라미터들은 제거하거나 단순화하는 작업을 수행하였다. 예를 들어 어떤 모델은 한 영상의 범위 내에서 위성은 직선으로 비행한다는 가정을 내리기도 하고 다른 모델은 카메라의 초점거리가 열평창에 의해 변할 수도 있다고 가정하기도 한다.

발표된 어떠한 모델방정식을 사용하더라도 영상 내에 골고루 분포되어 있는 정확하게 추출된 많은 지상 제어점을 사용하면 매우 정확한 카메라모델을 얻을 수 있다. 하지만 GPS측량 등을 이용하여 한 개의 정확한 지상제어점을 추출하는 것은 많은 시간과 비용이 소요되는 작업이다. 또한 영상의 특성상 지상제어점을 영상 내에서 골고루 추출할 수 없는 경우가 많이 발생한다. 결국 필요한 지상제어점의 개수, 정확도, 분포도를 충분히 만족시키지 못할 경우 각 모델방정식은 매우 다른 정확도의 카메라모델을 생성하게 된다. 따라서 지상제어점의 개수가 적거나 약간 부정확한 경우, 영상 내에서 골고루 분포되어 있지 않은 경우에도 최대한 정확한 카메라모델을 생성할 수 있는 모델방정식이 신뢰성 있는 모델로 여겨지고 있다. 이러한 모델의 신뢰성은 완벽한 물리적모델에 가까울수록 더 좋아지며, 따라서 모델의 복잡도 또한 증가되게

된다.

많은 경우 영상정합을 수행하기 전에 카메라모델을 먼저 생성하여 epipolar geometry를 형성한다. Epipolarity란 한 영상의 기하학적 모델을 다른 영상의 그것에 맞추어서 생성되는 기하학적 성질이다. 만일 한 영상을 다른 영상에 epipolar투영을 시켰을 경우 한 영상 내의 한 점에 대응되는 다른 영상 내의 점은 epipolar curve상에 위치하게 되며 따라서 영상정합의 search space를 크게 줄일 수 있으므로 영상정합의 정확도와 속도를 크게 높일 수 있다.

### 2.3 DEM 편집 및 보간

영상정합과 카메라모델을 통해서 얻어진 정보는 지상좌표계를 기준으로 산개되어 있는 3차원 좌표(위도, 경도, 높이)이다. 이러한 정보로부터 지상좌표계의 일정 격자에 해당되는 높이 값, 즉 DEM을 생성하기 위해서 내삽법을 적용해야 한다. 그림 3은 자동영상정합, 카메라모델, 내삽을 통해 생성된 DEM의 예를 보여준다.

그림 3에서 보는 DEM 내부의 검은 부분들은 영상정합이 이루어지지 않은 부분이며, 이를 미정합

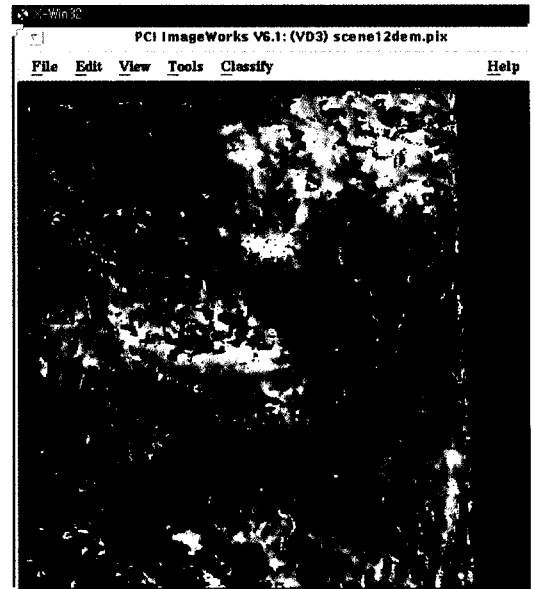


그림 3. 생성된 원시 DEM 예 : 밝기값 = 높이값

(unmatched) 부분이라고 한다. 이는 2.1절에서 설명되었듯이 스테레오 영상 쌍이 촬영시각차이 또는 촬영각도차이에 의해서 서로 상이한 부분을 많이 포함하고 있기 때문에 정합알고리즘이 유사성을 찾지 못한 부분이다. 또한 정합이 이루어진 화소들도 많은 오정합(mismatched)을 갖게 된다. 정합알고리즘이 엉뚱한 점을 정합점으로 잘 못 판단하는 경우로서 그림 3에서 주위의 높이에 비해서 갑자기 밝게 튀는 부분이 그 예이다. 미정합과 오정합의 비율은 영상정합 알고리즘에 의해서 최적화되어야 한다. 즉 미정합 화소를 줄이기 위해서 정합성공 조건을 여유가 있게 설정하면 오정합이 증가할 수밖에 없고, 반대로 정합성공 조건을 매우 까다롭게 설정하면 오정합은 줄어들지만 미정합이 증가하게 된다.

먼저 이러한 오정합을 자동 및 수동 방법으로 제거해 주어야 한다. 정합결과가 오정합이라는 판단을 내리기 위해서는 여러 가지 조건들을 사용해야 한다. 주로 지표높이의 변화는 연속적이라는 가정을 사용하며, 따라서 주위의 높이값에 비해 불연속적으로 크게 증가하거나 감소되는 높이값을 가진 화소들을 제거하여 미정합으로 처리한다.

오정합을 최대한 제거한 후 미정합화소들의 높이값을 보간법을 이용하여 생성한다. DEM 생성을 위한 보간법으로서 영상 밝기값 보간을 위해 사용되는

bilinear, cubic convolution 방법을 사용하는 대신 지표높이의 연속성을 이용하는 크리깅 보간법을 많이 사용한다. 하지만 미정합화소가 산개되어 있을 경우 이러한 보간법을 통해 미정합화소의 높이값을 얻을 수 있는 것이고, 만일 미정합영역이 상당히 클 경우에 이러한 보간법을 사용하면 부정확한 DEM을 얻을 수밖에 없다. 따라서 큰 미정합부분이 발생하면 수작업으로 정확한 높이값을 입력해 주거나 아니면 여러 스테레오 영상 쌍을 사용하여 DEM을 생성하고, 이들은 결합시켜주는 방법을 사용해야 한다.

### 3. 결 론

본 논문에서 기술된 바와 같이 스테레오 위성영상을 이용한 DEM 생성은 여러 가지 장점과 가능성을 보유하고 있으나 정확한 DEM을 생성하기 위해서는 현실적으로 풀어야 할 숙제가 남아있다. 가장 신경써야 하는 부분은 정확한 영상정합, 오정합제거 및 미정합 결정이다. 이러한 문제들을 해결하기 위하여 많은 노력이 있었으며, 앞으로도 지속적인 연구개발을 통해 보다 정확하고 신뢰성있는 DEM을 위성영상을 통해 제작할 수 있을 것이다. 또한 1m급 위성영상의 출현을 통해 기존의 DEM 생성 방법과 함께 새로운 알고리즘을 개발하는 것이 필요할 것이다. 🌐