

# 위성영상의 수치고도모형의 생성을 위한 RFM의 적용성에 관한 연구

## Application of RFM for DEM Generation

손홍규\* · 박정환\*\* · 유형욱\*\*\*

Sohn, Hong-Gyoo · Park, Choung-Hwan · Yoo, Hyung-Uk

---

### 요 지

위성영상을 이용하여 수치표고모형을 제작하기 위해서는 영상정합이 가장 중요한 필수 과정이다. 하지만 위성영상은 항공사진과 달리 off-nadir 현상으로 인해 동일 영상내의 공칭 해상도가 달라질 수 있고 관측각에 따라 보다 심한 기하학적 왜곡이 발생할 수 있기 영상정합이 쉽지 않다. 본 연구에서는 다항식비례모형을 이용한 대상공간영상정합기법을 적용하여 위성영상에 대한 영상정합을 성공적으로 수행하였고 이를 통해 수치표고모형을 제작, 그 정확도를 평가하고 적용 가능성을 제시하였다.

---

### 1. 서론

다항식비례모형(RFM: Rational Function Model)은 센서의 종류에 상관없이 범용적으로 사용이 가능한 모델이다. 일반적으로 다항식비례모형 계수(RFCs: Rational Function Coefficients)를 결정하기 위해서는 고르게 잘 분포된 많은 수의 지상기준점을 필요로 한다. 이를 위해서 엄밀센서모형을 이용하여 공액점의 영상좌표로부터 계산된 지상좌표를 기준점으로 사용하게 된다(Tau and Hu, 2001). 하지만 엄밀센서모형이 없는 경우에는 기존의 지도나 수치고도모형 등을 이용하여 기준점을 취득하는 방법을 사용할 수밖에 없다. 이 경우 기준점을 충분히 획득하기 힘들기 때문에 다항식비례모형 계수를 정확하게 구하기 어렵고 결과적으로 위치정확도가 떨어질 수밖에 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 상관도 분석을 이용한 다항식비례모형의 위치정확도를 향상시키는 방법을 소개한 바 있다(손홍규 등, 2002).

본 연구에서는 상관도 분석을 통해 계산된 다항식비례모형 계수를 사용하여 KOMPSAT 입체영상으로부터 수치고도모형을 제작하고 제작된 수치고도모형의 정확도를 조사하고자 한다. 수치고도모형의 제작을 위해서는 두 영상 간의 많은 공액점이 필요하다. 이를 위해 좌측영상에 대하여 Canny 연산자를 사용, 영상정합을 위한 초기점(seed point)를 구하고 다항식비례모형 계수를 사용하여 이 점에 대한 우측영상의 탐색영역을 제한하는 대상공간 영상정합법(object space image matching)을 적용하였다. 영상정합 과정에서 정합점의 정확도 향상을 위해 최소제곱 영상정합법을 병행하여 사용하였다. 최종적으로 추출된 정합점에 대해서는 다항식비례모형을 적용한 전방교선법(intersection)을 이용하여 지상좌표를 취득하고 이를 기초로 보간을 통해 대상 지역의 수치고도모형을 제작하였다. 정확도 분석은 동일 정합점에 대한 엄밀센서모형을 이용한 수치고도모형을 생성하고 이와 비교하는 방법을 사용하였다.

---

\*정회원 · 연세대학교 사회환경 · 시스템공학부 조교수 · 공학박사 · 02-2123-2809(e-mail: sohn1@yonsei.ac.kr)  
\*\*정회원 · 연세대학교 사회환경 · 시스템공학부 토목 · 환경전공 박사과정 · e-mail: c142520@yonsei.ac.kr  
\*\*\*정회원 · 연세대학교 사회환경 · 시스템공학부 토목 · 환경전공 석사과정 · e-mail: diveststar@hanmail.net

## 2. 연구방법 및 실험

### 2.1 사용영상 및 대상영역

본 연구에 사용된 KOMPSAT 입체영상은 17km×17km의 영역으로 대전광역시를 중심으로 촬영되었다. 좌측영상은 2796(line)×2592(column), 우측영상은 2798(line)×2592(column)의 크기를 가지며 영상소의 해상도는 6.6m이다. 이 영상에서 전반적으로 구릉지로 판단되는 부분(높은 산악지형은 없음, 강과 평지 그리고 주위의 구릉성산지로 구성됨)만을 따로 절취하여 대상지역으로 삼았다. 항공사진과 달리 위성영상의 경우 심한 기하학적 왜곡이 발생할 수 있기 때문에 동일지역일지라도 좌우측 영상의 크기는 차이가 난다. 절취된 영상의 크기는 좌측 750(line)×750(column), 우측 749(line)×945(column)으로 그림 1과 같다.

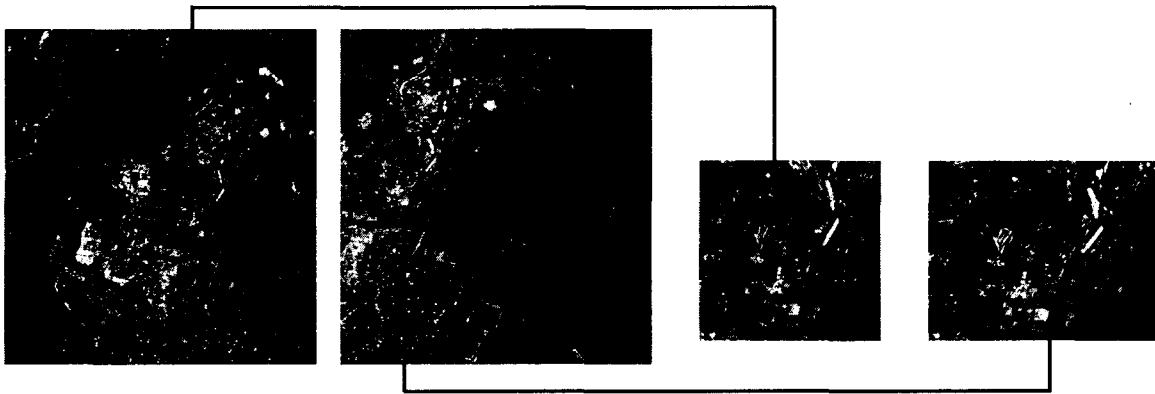


그림 1. 사용영상 및 대상영역

### 2.2 상관도 분석을 통한 다항식비례모형계수의 산정

기준점은 1:5000 수치지도에서 취득하였으며 수직 및 수평 분포를 고려하여 좌측 25점, 우측 24점의 총 49점을 취득하였다. 이를 이용 다항식비례모형 계수를 계산하였다. 좌·우측 영상에 대하여 영상좌표와 지상좌표의 관계는 다음의 식 (1), (2)와 같은 일반적인 다항식비례모형을 통하여 나타낼 수 있다(손홍규 등, 2001).

$$x_l = \frac{A_l(X_n, Y_n, Z_n)}{B_l(X_n, Y_n, Z_n)} \quad y_l = \frac{C_l(X_n, Y_n, Z_n)}{D_l(X_n, Y_n, Z_n)} \quad (1)$$

$$x_r = \frac{A_r(X_n, Y_n, Z_n)}{B_r(X_n, Y_n, Z_n)} \quad y_r = \frac{C_r(X_n, Y_n, Z_n)}{D_r(X_n, Y_n, Z_n)} \quad (2)$$

여기서,  $x_l, y_l$ 은 좌측 영상,  $x_r, y_r$ 은 우측 영상의 행과 열의 위치로  $X_n, Y_n, Z_n$ 은 그 영상좌표에 대응하는 지상의 3차원 좌표이다. 본 연구에서는 다항식비례모형의 적용에 있어 지상좌표에 대한 다항식 차수는 최대 2차로 제한하였다.  $A \sim D$ 는 다항식 형태로 다음의 식 (3)과 같다.

$$A_l = \sum_{i=0}^{m_1} \sum_{j=0}^{m_2} \sum_{k=0}^{m_3} a_{l_{ijk}} x^i y^j z^k = a_{l_0} + a_{l_1}X + a_{l_2}Y + a_{l_3}Z + \dots + a_{l_4}X^2 + a_{l_5}Y^2 + a_{l_6}Z^2 \quad (3)$$

여기서,  $a_{l_{ijk}}$ 은 일반적인 다항식비례모형 계수를 나타낸다. 본 연구에서는 이들 계수들 중 상관성 분석을 통해 최적의 계수만을 선택 하였다.

### 2.3 다항식비례모형계수를 이용한 대상공간 영상정합 및 DEM 생성

항공사진과 달리 위성영상의 경우 off-nadir 현상으로 인해 동일 영상내의 공칭 해상도가 달라질 수 있고 관측각에 따라 보다 심한 기하학적 왜곡이 발생할 수 있기 때문에 일반적인 영상정합방법을 적용하기가 용이하지 않다. 따라서 이러한 정합문제의 해결을 위해 본 연구에서는 다항식비례모형 계수를 이용한 대상공간 영상정합 알고리즘을 적용하기로 하였다(정수 등, 1999). 영상정합 및 수치고도모형 제작 알고리즘은 표1과 같다

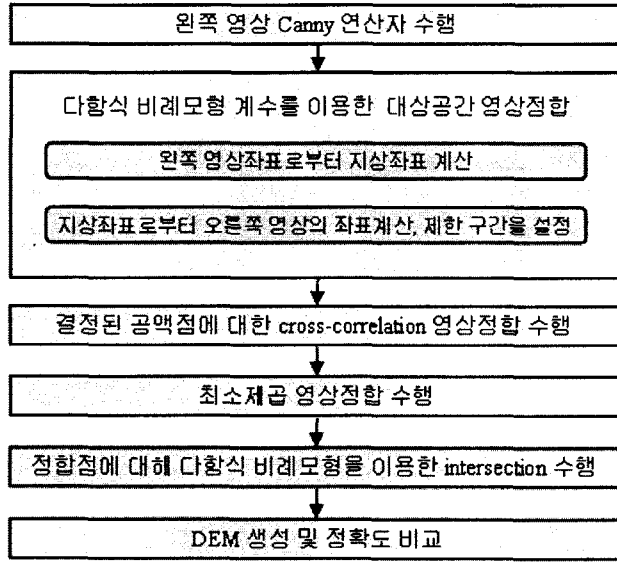


표 1. 영상정합 및 DEM제작 알고리즘

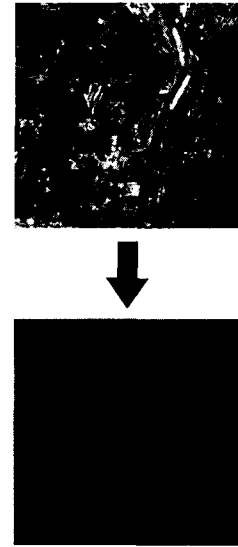


그림 2

우선 좌측영상에서 Canny 연산자를 사용하여 초기점을 추출하였다(그림 2에서 흰색으로 표시된 점). 이 초기점의 영상좌표에 대응하는 실제 지상좌표를 식(1)을 이용하여 구하였다. 하지만 이 식만으로 지상좌표의 계산이 불가능하기 때문에 고도에 해당하는 Z값은 특정값으로 가정하였다. 대상지역에 대한 고도정보를 얻기 위해 영상전체에 대하여 골고루 분포된 100점의 공액점을 취득하여 엄밀센서모형을 통해 3차원 위치를 결정하였다. 물론 처음 가정에서는 엄밀센서모형을 모른다고 가정했지만 이는 추후 수치지도에서 취득할 수 있는 정도의 수이고 정확도 검증을 위해 보조적으로 사용된 것이다. 고도 Z값의 범위는 산정된 100점의 Z값의 최대값, 최소값 사이로 결정하였으며 그 범위 내에서 100m 간격씩 6개 구간으로 분리하여 각각 구간에 대하여 대상공간 영상정합 기법을 적용하였다(표 2 참조).

식(1)을 X, Y에 대한 함수 형태로 정리하면 비선형 형태로 표현되므로 이를 Talyor 급수 전개를 통해 선형화 시키고 행렬 형태로 표현하면 식 (4)와 같다.

$$\begin{bmatrix} \nu_{xi} \\ \nu_{yi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x_i}{\partial X} & \frac{\partial x_i}{\partial Y} \\ \frac{\partial y_i}{\partial X} & \frac{\partial y_i}{\partial Y} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x_i - x_0 \\ y_i - y_0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서  $x_0, y_0$ 은 초기 영상좌표,  $\nu_{xi}, \nu_{yi}$ 은 잔차,  $\Delta X, \Delta Y$ 는 지상좌표 X, Y에 대한 미세 증가량을 의미한다. 각 구간별 Z값의 최대값  $Z_{max}$ 과 최소값  $Z_{min}$ 에 대하여 식 (4)를 이용해 얻은 지상좌표를 각각  $G_{max}(\hat{X}_{max}, \hat{Y}_{max}, Z_{max}), G_{min}(\hat{X}_{min}, \hat{Y}_{min}, Z_{min})$ 라 하고 이에 대응하는 우측영상의 영상좌표를 식 (2)를 통해 계산하

게 되면  $I_{Rmax}(i_{max}, j_{max}), I_{Rmin}(i_{min}, j_{min})$ 를 얻을 수 있다. 이렇게 획득된 우측영상에서의 제한 구간에 대하여 좌측 영상의 초기점에 대응하는 공역점을 찾기 위해 영역기준 영상정합을 수행하였다. 우측영상에서의 제한 구간은 식 (5) 같은 직선의 방정식을 이용하여 구하였으며 정합구간에 대한 보다 안정적인 정합을 위해서 해당 영상소의 상하로 5영상소씩 더 탐색하도록 설정하였다 (그림 3 참조).

$$(i - i_{max}) = \frac{(i_{max} - i_{min})}{(j_{max} - j_{min})} (j - j_{max}) \quad (5)$$

가장 상위 단계의 영상정합 과정에서는 대상공간 영상정합법을 이용하였으며 결정된 공역점에 대하여 cross-correlation 영상정합 및 최소제곱 영상정합법 사용, 향상된 정확도의 정합결과를 얻을 수 있었다.

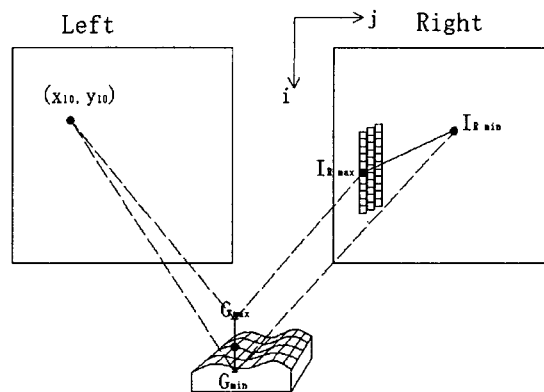


그림 3. 다항식비례모형계수를 이용한 대상공간 영상정합

구간	최소 Z	최대 Z	초기 정합점의 개수	정합점	제외점	정합점의 백분율(%)
1	-252.416	-152.416	6809	3311	3498	48.627
2	-152.416	-52.416	6305	1336	4969	21.190
3	-52.416	47.584	20818	18680	2138	89.730
4	47.584	147.584	22473	21788	685	96.951
5	14.584	247.584	11889	8895	2994	74.817
6	247.584	347.584	7065	2483	4582	35.145
3,4,5 구간 총 합계			55180	49363	5817	89.458
총합계			75359	56493	18866	74.965

표 2. Z값에 따른 구간 분포 및 구간별 Matching 정확도

효율적인 영상정합을 위해 고도 Z값의 범위를 6개 구역으로 나누었을 때 3번째 구역(-52.416m < Z < 47.584m)과 4번째 구역 (47.584m < Z < 147.584m), 5번째 구역(147.584m < Z < 247.584m)에서 가장 좋은 결과를 얻었으며 이때 각각 20,818, 22,473, 11,889개의 영상정합점을 취득하였다(그림 4, 5, 6에서 흰색으로 표현된 점).

각 구간에서 생성된 영상정합점의 총 개수는 75,359점으로 이 점들에 대하여 다항식비례모형을 이용한 전방교선법을 사용하여 최종적인 3차원 위치를 계산하였다. 전방교선법을 이용한 반복 수렴과정 중 3번째 구역

에서 90%, 4번째 구역에서 97%, 5번째 구역에서는 75% 점들이 수렴 하였으며 나머지 구간에서는 50%이하로 수렴하였다. 3, 4, 5 번째 구간에서는 영상정합이 정확하게 수행되었기 때문에 수렴율이 높게 나타난 것으로 판단, 이들 구간에서의 수렴점들만을 사용하여 그림 7과 같이 수치고도모형을 제작하였다 . 동일한 점에 대하여 엄밀센서모형을 사용하여 제작한 수치고도모형은 그림 8와 같다.

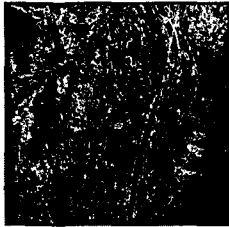


그림 4. 구간 3에서의 영상정합점

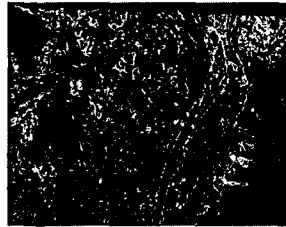


그림 5. 구간 4에서의 영상정합점

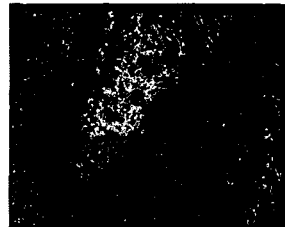
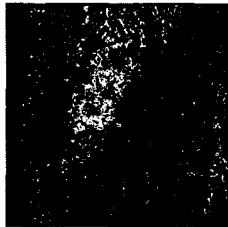


그림 6. 구간 5에서의 영상정합점

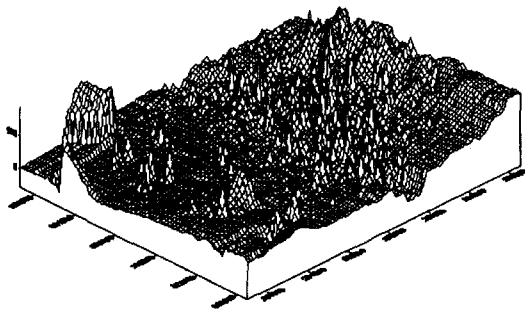


그림 7. 다향식비례모형을 이용 제작된 DEM

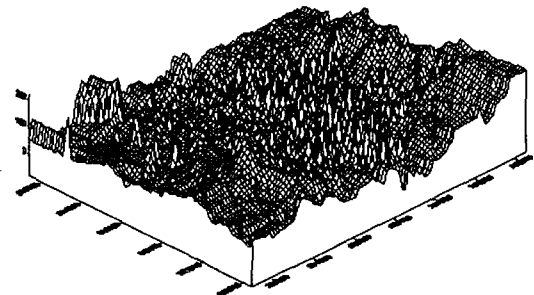


그림 8. 엄밀센서모형을 이용 제작된 DEM

### 3. 결론

본 연구에서는 다향식비례모형을 사용하여 수치고도모형을 제작하였다. 수치고도모형을 제작하기 위한 가장 필수적인 과정인 영상정합을 대상공간 영상정합법을 이용하여 효율적으로 수행하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 영상의 기하학적 왜곡이 심한 위성영상에 있어 다향식비례모형계수를 이용한 대상공간 영상정합을 실시한 결과 탐색영역을 획기적으로 줄일 수 있었고 매우 우수한 영상정합결과를 나타내었다. 지상 고도  $Z$ 값을 가정함에 있어 6개 구간으로 나누었는데,  $Z$ 값이 3, 4, 5구간 ( $-52.416m < Z < 247.584m$ )에 있을 때 특히 정합결과가 우수하였다. 3구간에서는 주로 낮은 지역(평지, 강 주위), 4, 5구간에서는 주로 높은 지역(구릉, 산)에 대한 영상정합이 이루어졌는데 이를 통해 처음 가정한  $Z$ 값에 대하여 실제  $Z$ 값이 그와 유사한 지역에서 영상정합이 잘 수행됨을 알 수 있었다.

2. 최종적인 영상정합점에 대하여 다항식비례모형을 이용한 전방교선법을 통해 3차원 위치를 결정할 수 있었다. 특히, 3,4,5 구간에서 전방교선법의 수렴율이 높은 반면 나머지 구간( $Z < -52.416\text{m}$ ,  $Z > 247.584\text{m}$ )에서는 수렴율이 50%이하로 나타났다. 이를 통해 처음 가정한 Z구간 중 1,2 구간과 6구간은 실제 Z값의 범위와 많은 차이가 나고 결과적으로 수렴율이 낮음을 알 수 있었다. 더 나아가 Z값을 실제지형과 유사하게 잘 가정하였을 때 영상정합이 정확하게 이루어지고 다항식비례모형에 의한 3차원 위치결정의 수렴율도 높음을 알 수 있었다.
3. 본 연구를 통해 제작한 수치고도모형과 엄밀센서모형을 이용해 제작한 수치고도모형을 비교한 결과 센서의 물리적 모형이 없는 경우라도 적정 수의 기준점이 취득된다면 다항식비례모형을 적용하여 비교적 정확한 수치고도모형의 제작이 가능함을 알 수 있었다.

### 참고문헌

1. 손흥규, 박정환, 송영선, 정진석(2001), 고해상도 위성영상을 이용한 3차원 위치결정 정확도에 관한 연구, **대한토목학회 학술발표회**, 대한토목학회.
2. 손흥규, 박정환, 유형욱(2002), 위성영상의 3차원 위치결정을 위한 RFM의 상관성 분석, **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제22권 제4-D호, pp. 777-789.
3. 정수, 박정환, 유복모(1999) 상호표정의 자동화를 위한 대상공간 영상정합, **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제19권, 제3-2호, pp. 313-323.
4. Tao, C. V. and Y. Hu, 2001, Comprehensive Study of the Rational Function Model for Photogrammetric Processing, PE&RS, 67(12), pp. 1347-1357.