

# 갱신된 다항식비례모형계수를 이용한 IKONOS 영상의 DEM 제작

## DEM Generation of IKONOS Imagery using Bias-Corrected RFCs

손홍규\* · 박정환\*\* · 김기홍\*\*\*

Sohn, Hong Gyoo · Park, Choung Hwan · Kim, Gi Hong

\* 연세대학교 사회환경시스템 공학부 토목 · 환경전공 조교수, 2123-2809(sohn1@yonsei.ac.kr)

\*\* 연세대학교 사회환경시스템 공학부 토목 · 환경전공 박사과정(c142520@yonsei.ac.kr)

\*\*\* 연세대학교 산업기술연구소 선임연구원(sfmacho@yonsei.ac.kr)

### 1. 서론

다항식비례모형(RFM: Rational Function Model)은 일련의 사진측량학적 처리를 간단히 수행할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 다항식비례모형은 이 같은 장점에도 불구하고 영상공급자(vendor)로부터 제공되는 다항식비례모형계수(RFCs: Rational Function Model Coefficients)의 정확도 수준에 따라 생성된 지형정보의 정확도가 결정되는 단점을 가지고 있다. 즉, 해상도 수준의 다항식비례모형계수가 제공되지 않는 이상 1m 급의 고해상 위성영상이라도 생성되는 지형자료는 그 이하의 정확도를 갖게 된다. 이러한 이유로 제공되는 다항식비례모형계수를 갱신하고자 하는 여러 시도가 있어왔다. 2002년도 Tao와 Hu는 기준점을 이용한 IDKF(Incremental Discrete Kalman Filtering)과 BILS(Batch Iterative Least Squares) 등의 2가지 갱신방법을 제시하였다. 이들의 연구에 따르면 기준점의 수가 충분하고 제공된 다항식비례모형계수의 공분산행렬(covariance matrix)이 제공된다면 높은 정확도를 갖는 다항식비례모형계수의 갱신이 가능하다고 보고 되었다. 또한 2003년도에는 Fraser와 Hanley가 위성영상의 외부표정요소에 포함되어 있는 편위(bias)를 보정함으로써 다항식비례모형계수를 갱신하고자 하는 방법을 소개하였다. 이들의 방법은 최소 1점의 지상기준점을 사용하면서도 높은 정확도를 나타내고 있다. 역시 동일한 개념에 기반하여 Grodecki와 Dial은 IKONOS 위성영상의 다항식비례모형계수를 이용한 블록조정 방법을 소개하였다. 이러한 일련의 선행연구들은 다항식비례모형계수의 갱신과 그 활용성에 대한 많은 방향을 제시하였다.

이에 본 연구에서는 다항식비례모형계수의 갱신

과 관련된 Fraser와 Grodecki의 개념을 국내지형에 적용하여 그 결과를 검증하고, 갱신된 다항식비례모형계수를 구간정합선(Piecewise Matching Line)을 이용한 영상정합방법에 직접 활용함으로써 영상정합의 효율성을 높이고자 한다. 본 연구는 IKONOS 입체영상을 실험대상으로 선택하였으며 실험지역의 일부지역에 대하여 수치고도모형(DEM)을 제작하고 1:5000 수치지도와의 비교를 통해 생성된 수치고도모형의 정확도를 제시하였다.

### 2. 편위 보정된 다항식비례모형계수

영상공급자로부터 제공된 다항식비례모형계수는 Geo product의 경우 수평위치는 25m(CE 90)의 정확도를 보이고 있다. 따라서 이러한 정확도는 정밀한 3차원 좌표결정이나 영상정합을 위해서는 부적절하다. Fraser와 Grodecki는 다음과 같이 4가지 형태의 보정함수를 제시하였다.

$$\Delta R = \alpha_1, \Delta C = \beta_1 \quad (1)$$

$$\Delta R = \alpha_1 + \alpha_2 R, \Delta C = \beta_1 + \beta_2 R \quad (2)$$

$$\Delta R = \alpha_1 + \alpha_2 C, \Delta C = \beta_1 + \beta_2 C \quad (3)$$

$$\Delta R = \alpha_1 + \alpha_2 R + \alpha_3 C, \Delta C = \beta_1 + \beta_2 R + \beta_3 C \quad (4)$$

Grodecki의 연구결과에 의하면 일반적으로 처리영상의 길이가 50km 미만일 경우는 위의 4가지 보정함수가 정확도 측면에서 큰 차이가 없기 때문에

가장 간단한 형태인 식 (1)이 효율적이라고 알려져 있다.

보정 후 다항식비례모형계수의 갱신을 위해서는 다음과 같은 과정을 통해 계산하게 된다.

$$r + \Delta r = p_1(\lambda, \phi, h) / p_2(\lambda, \phi, h), \quad \Delta r = \Delta R / r o w_{scale} \quad (5)$$

$$c + \Delta c = p_3(\lambda, \phi, h) / p_4(\lambda, \phi, h), \quad \Delta c = \Delta C / c o l u m n_{scale} \quad (6)$$

$$r = \frac{(a_1 - b_1 \Delta r) + \dots + (a_{20} - b_{20} \Delta r) h^3}{b_1 + b_2 \lambda + b_3 \phi + \dots + b_{20} h^3},$$

$$c = \frac{(c_1 - d_1 \Delta c) + \dots + (c_{20} - d_{20} \Delta c) h^3}{d_1 + d_2 \lambda + d_3 \phi + \dots + d_{20} h^3} \quad (7)$$

### 3. 구간정합선을 이용한 영상정합

고도 값에 따라 변화되는 가상의 지상좌표를 우측영상으로 재투영하는 변환관계는 우측영상의 다항식비례모형 계수를 통해 간단히 정의될 수 있다. 본 연구에서는 좌측영상에서 Canny 연산자를 통해 추출된 시작점(seed points)에 대하여 대상지역의 고도 분포를 고려함으로써 정합시 해당 공역점의 탐색영역을 제한하고자 하였다. 즉, 대상지역의 고도 값의 범위를 여러 개의 구간으로 나누고 각 구간별 탐색구간을 선형으로 가정함으로써 구간별 예상 공역점의 위치를 제한된 범위 내에서만 탐색하게 된다. 포물선 형태의 복잡한 위성영상 에피폴라 곡선(epipolar curve)를 직접 계산하여 정합을 수행하는 것보다는 고도 값에 따라 재투영 가능성이 있는 구간정합선을 따라 정합하는 방법이 훨씬 효율적이라고 판단된다. 그림 1은 임의의 시작점에 대한 영상-대상공간, 대상공간-영상간의 기하학적 관계를 보여주고 있다.

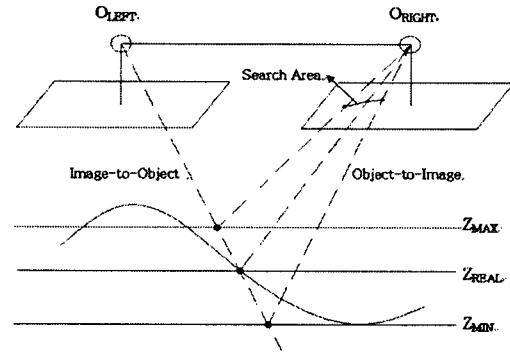


그림 1. 영상-대상공간의 상호변환관계

본 연구에서는 대상지역에 대하여 가정된 여러 개의 고도 값에 따라 취득된 우측영상 내의 영상좌표를 기준으로 각 구간별 직선의 방정식을 구하고, 기울기를 따라 이동하면서 영상정합을 수행하였다.

### 4. 연구대상지역 및 실험결과

본 연구에서 사용한 영상자료는 2001년 11월 22일 촬영된 IKONOS 입체영상으로 실험지역은 그림 2와 같다.

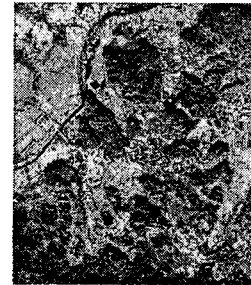


그림 2. 실험지역의 IKONOS 영상

#### 4.1 다항식비례모형계수의 갱신

IKONOS 입체 영상을 제공하는 Space Imaging사는 위성의 궤도정보를 제공하지 않는 대신 일반사용자들의 위성영상처리를 위해서 RPCs(Rational Polynomial Coefficients)를 제공하고 있다. 제공되는 RPC는 90%의 오차범위로 25m 수준의 정확도를 제공하고 있다. RPC 파일은 각각의 영상에 대하여 총 59개의 다항식 형태의 계수를 포함하고 있으며(78개가 제공되고 있지만 실제로는 분모의 형태가 동일한 형태로 제공된다) 좌표계는 WGS-84 기준의 경위도 좌표계를 기준으로 하고 있다.

표 1. 다항식비례모형계수의 갱신 (단위: 영상소)

보정 전	RMSE							
	좌측				우측			
	column		row		column		row	
	3.900		5.206		2.719		16.542	
보정함수	식 (1)				식 (4)			
지상기준점의 수	좌측		우측		좌측		우측	
	column	row	column	row	column	row	column	row
1	1.646	3.310	1.616	3.066	1.654	3.334	1.616	3.066
2	1.714	2.603	1.771	3.022	1.639	2.967	1.630	3.066
4	1.734	2.480	1.823	3.235	1.576	2.275	1.682	3.190
6	1.666	2.187	1.529	2.920	1.643	2.461	1.638	3.174
10	1.704	2.139	1.532	3.024	1.682	2.099	1.547	3.033

본 연구에서는 IKONOS에서 기본적으로 제공하는 RPC 파일을 본 영상정합에 적합한 수준의 정확도를 갖도록 Fraser와 Grodecki의 개념을 이용하여 갱신하였다. 식 (1)과 식 (4)에 대하여 기준점의 개수를 달리하면서 실험을 수행하였으며, 표 1의 실험결과에서 알 수 있듯이 기존의 선행연구결과와 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

#### 4.2 구간정합선을 이용한 영상정합

IKONOS 영상에 대한 정합 실험 전 시뮬레이션 실험을 통해 갱신된 RPC를 이용하여 새로이 생성된 개별정합선의 적합성을 확인하였으며 표 2는 연구 대상지역에 대하여 50m~160m까지 11구간으로 나누어져 수행된 정합결과를 보여주고 있다. 고도 70m~120m의 구간 등에서 가장 많은 정합들이 이루어졌으며 전반적으로 83%에 이르는 정합률을 보여주고 있다

표 2. 구간별 영상정합결과

시작점 구간 높이 (단위: m)	149084	
	정합점	정합률
1 (50-60)	1324	0.008
2 (60-70)	4116	0.027
3 (70-80)	18966	0.127
4 (80-90)	31624	0.212
5 (90-100)	20614	0.138
6 (100-110)	15727	0.105
7 (110-120)	12682	0.085
8 (120-130)	5886	0.039
9 (130-140)	5356	0.035
10 (140-150)	4629	0.031
11 (150-160)	3546	0.023

다음의 표 3은 실제 대상지역의 고도보다 높은 구간으로 가정되었을 때의 정합결과를 보여주고 있다. 표 3에서 보듯이 대상지역의 고도보다 높은 경우에는 정합점의 수가 급격하게 줄었음을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 적용한 영상정합법은 대상지역의 고도와 실제로 일치하는 구간에서만 정합이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

표 3. 실제구간보다 높게 가정된 구간별 영상정합결과

시작점	149084
구간 높이 (단위:m)	정합점
1 (200-210)	159
2 (210-220)	170
3 (220-230)	163
4 (230-240)	108
5 (240-250)	107

### 4.3 수치고도모형의 제작

그림 3은 본 연구를 통해 제작된 수치고도모형을 보여주고 있다.

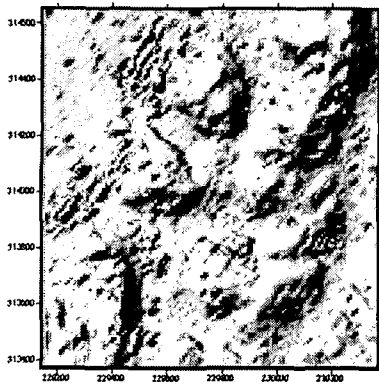


그림 3. 본 연구에서 제작된 수치고도모형 (5m, 130×125, WGS-84 UTM Zone 52)

표 4. 제작된 수치고도모형의 고도값 오차 (단위: m)

RFM-기준자료 (수치지도)	RMSE	Mean Error	Max. Error
고도	3.831	2.230	21.325

## 5. 결론

본 연구에서는 고해상도 위성영상으로 RFM을 기본센서모형으로 채택하고 있는 IKONOS 영상을 대상으로 기존의 해외 선행연구에서 제안된 다항식비례모형계수의 갱신방법을 검정하였으며, 구간정합선을 이용한 영상정합을 활용하여 연구지역에 대한 수치고도모형을 제작하고 그 정확도를 제시하였다. 연구결과 대상지역의 고도값에 대하여 3.8m의 RMSE를 나타내었다. 본 연구는 다항식비례모형의 갱신과 활용성평가에 대한 기초적인 연구결과로 향후 고해상도 위성영상을 이용한 정밀수치고도모형 제

작과 관련된 연구가 지속되어야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 정수, 박정환, 유복모, 1999, 상호표정자동화를 위한 대상공간영상정합, 대한토목학회논문집, pp. 313-323.
2. Baltasvias, E. P., Stallmann, D., 1993, SPOT stereo matching for digital terrain model generation, Proc. of 2nd swiss symposium on patten recognition and computer vision, Zurich, Swiss, pp. 61-72.
3. Grodecki, Jack, and Gene Dial, 2001, IKONOS geometric accuracy, Proceedings of Joint ISPRS Workshop "High Resolution Mapping from SPACE 2001", 19-21 September, Hannover, Germany, pp. 77-86.
4. Kim, T., 2000, A study on the epipolarity of linear pushbroom images, PE&RS, 66(8), pp. 961-966.
5. Li Zhang, Maria Pateraki, Emmanuel Baltasvias, 2003, Matching of IKONOS stereo and multitemporal GEO images for DSM generation, Map Asia 2003, 17-19 July, Kuala Lumpur, Malaysia, CD-ROM.
6. Tau, C. V., and Y. Hu, 2001, A comprehensive study of the rational function model for photogrammetric processing, PE&RS, 67(12), pp. 1347-1357.
7. Tau, C. V., and Y. Hu, 2002(a), 3D reconstruction methods based on the rational function model, PE&RS, 68(7), pp. 705-714.
8. Y. Hu and Tau, C. V., and, 2002(b), Update solutions of the rational function model using additional control information, PE&RS, 68(7), pp. 715-723.
9. Zhang, Y., 1991, Matching in image/object dual spaces, SPIE Vol. 1526 Industrial Vision Metrology.