

# 유리함수모델 기반 표고시차보상기법을 사용한 Image Registration 방안 제안

## The Suggestion of the Image Registration Using Terrain Relief Correction Based on RFM

김현숙<sup>1)</sup> · 김문규<sup>2)</sup> · 서두천<sup>3)</sup>

Hyunsuk Kim · Moon-Gyu Kim · Doo-Chun Seo

### Abstract

When two bands have different look angle in a space-borne camera system, the registration between two bands is required. The registration cannot be modeled with constant parameters because of dynamic of platform and parallax effect. The parallax effect is caused by terrain relief, hence it causes local distortion between two bands. Therefore, the terrain relief correction in order to reduce the parallax effect is required for better registration result, especially for high resolution image data. Such terrain relief correction also can be applied to image data acquired from multiple detectors with different look angle within a band, which is a one of commonly used configuration for a wider swath in space-borne camera system, in order to reduce the distortion between detectors. The RFM is a popular abstract model in remote sensing field, which gives us the relationship between the image plane and geodetic coordinate system. Therefore, we propose a terrain relief correction method based on the RFM. The experiment showed very promising result.

Keywords : Band registration, Dynamics, Parallax effect, Terrain relief, RFM

### 초 록

위성 카메라의 두 밴드가 다른 관측 각(Look angle)으로 촬영 시, 두 밴드간의 정합이 요구된다. 밴드 정합(Band registration)은 플랫폼의 다이내믹스(Dynamics)와 시차효과로 인하여 상수매개변수(constant parameter)로 수학적인 모델을 수립하여 정합(registration)을 수행하기 어렵다. 시차효과는 지표면 표고에 의해 야기되는 현상으로 이는 두 밴드간 정합 특성이 지표면의 표고의 함수로 주어진다. 두 밴드간 정합이 성공적으로 이뤄지기 위하여 시차효과를 보상하는 표고시차보상기법이 요구된다. 이러한 표고시차보상은 특히 고해상도 영상정합에서 중요하다. 표고시차보상기법은 하나의 밴드를 다른 관측 각을 가지는 다수의 CCD라인으로 구성된 경우에도 적용이 가능하다. 한 밴드에서 촬영된 CCD라인 영상들은 연결된 CCD라인마다 다른 관측 각을 가짐으로 CCD라인간 표고시차가 발생하여 CCD라인간 지상거리 차가 표고에 따라 증가되는 왜곡 현상이 나타나기 때문이다. 이를 보상하기 위해 기준밴드 또는 기준 CCD라인과 대상밴드 또는 대상 CCD라인간 영상과 지상간의 관계를 다항식을 사용하여 수학적으로 모델 하는 RFM을 사용하였다. 실험결과, 표고시차가 존재하는 영상에 대해서도 제안된 기법으로 밴드 정합이 성공적으로 수행되는 것을 확인하였다.

핵심어 : 밴드 정합, 다이내믹스, 시차효과, 표고시차, 유리함수모델

1) 정회원, (주)셋트랙아이 지상사업부 전임연구원(E-mail: hskim@satreci.com)

2) 교신저자, (주)셋트랙아이 지상사업부 책임연구원(E-mail:mgkim@satreci.com)

3) 교신저자, 한국항공우주연구원 영상검보정기술팀 선임연구원(E-mail:decivil@kari.re.kr)

## 1. 서론

위성은 넓은 촬영 지역과 여러 분광특성이 나타나는 영상들을 획득하기 위해 카메라를 설계한다. 카메라는 설계된 특정 분광 특성을 가지는 밴드들을 물리적인 공간상 문제로 기준이 되는 밴드 위치로 모든 밴드들을 탑재할 수 없다(Jean-Luc, L et al. 2004). 카메라 설계 시 넓은 촬영 폭(Swath width)을 획득하기 위해 Fig 1처럼 하나의 CCD라인이 아닌 여러 CCD라인들을 연결하여 하나의 밴드로 구성한다(Kocaman, S. and Gruen. 2006.; Jacobsen, K. 2006.).

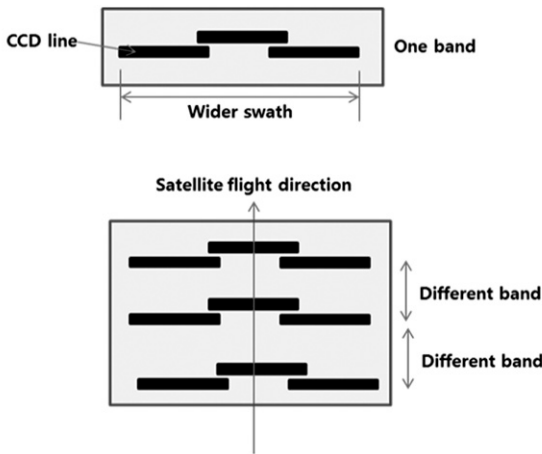


Fig 1. The Relation with band and CCD line

Fig 2처럼 IKONOS 다중분광밴드(Multispectral band)도 11.3km의 촬영 폭(Swath width)을 만족시키기 위해 3개의 CCD라인들을 연결하였으며, 각 다중분광밴드들도 밴드 간의 위치차이가 나도록 초점 면(Focal plane)에 탑재되어 있다.

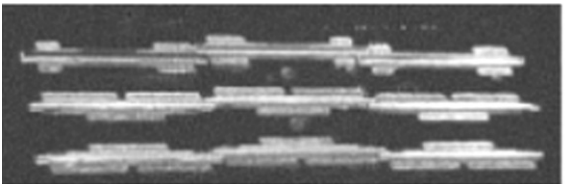


Fig 2. IKONOS's 3 Multispectral CCD-lines(Jacobsen, K. 2006)

밴드간 위치차이(Different Band)는 밴드마다 다른 관측 각(Look angle)을 가지기 때문에 동시간에 촬영된 영상에서 밴드마다 보는 지상 위치가 다르게 된다(Daniela Poli, 2001). 이때, 밴드간 지상거리차이는 초점 면(Focal plane)

에서 밴드간 위치차이를 위성 카메라의 초점거리와 고도에 비례하여 지상 거리 차로 나타나게 된다(Greslou, D. and Delussy, F. 2006.; Jacobsen, K. 2006.). 밴드간 영상좌표에서의 거리차는 특정대상에 대하여 지표면 고도의 함수로 나타나게 된다.

지표면 고도의 함수에 대한 예로, 기준 밴드로부터 지상 거리차이가 약 13km와 약 1.2km일때 고도에 따른 밴드간 발생하는 영상좌표에서의 거리차이를 계산하였다. 여기서 계산된 값은 밴드가 연직점(at Nadir)으로 영상을 촬영했을 때 영상과 지상간의 기하학적 관계를 기반으로 하여 계산하였다.

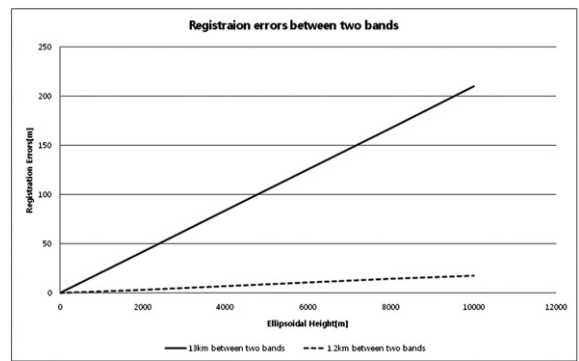


Fig 3. Registration Errors between two bands depending on Height

지표면 고도가 1,000m일 때, 기준 밴드로부터 1.2km차이가 나타나는 밴드는 고도가 0m인 지점 대비 약 17.994m 정도의 거리차이가 나타나고, 기준밴드로부터 13km차이가 나타나는 밴드는 고도가 0m인 지점 대비 약 209.8543m 정도 영상에서 거리차이가 발생하게 된다. 이렇게 표고로부터 발생하는 밴드간 시차는 영상과 영상간 정합 수행 시, 오 정합(Outlier)이 발생되어 결과적으로 정합(Registration) 정확도가 떨어지게 된다.

따라서, 밴드간 정합 정확도를 높이기 위하여, 특정 밴드에서 촬영된 영상을 기준으로 지표면 고도로 야기된 시차를 보상하는 표고시차보상기법(Terrain relief correction)을 제안한다. 표고시차보상기법은 대상영상을 기준영상이 가지는 관측 각(Look angle)으로 관측 시 획득할 수 있는 영상으로 재배열 해주는 것이다. 일반적인 정사투영영상(Orthorectified Image)이 연직점(at Nadir)기준으로 영상을 재배열하는데 반하여, 제안하는 표고시차보상기법은 기준밴드(master) 영상이 가지는 관측 각(Look angle) 기준으로 영상을 재배열해주는 것이다.

본 논문에서 제안하는 방법은 동일 시점에서 기하학적

위치가 다른 두 개의 디텍터에서 획득된 영상의 정합이 필요한 경우 표고시차(Terrain Relief)에 의해 유발되는 오정합을 줄이기 위한 것이다. 두 영상에 대해 모두 정상영상을 생성하여 정합하는 경우 표고시차에 의해 발생하는 오류는 없어지나 원본 영상의 기하학적인 정보가 유실되는 단점이 있다. 제안하는 방법에서는 기준영상은 유지하면서 대상영상을 기준영상의 기하정보를 이용하여 재배열하므로 기준영상에 대해서는 원본영상의 형태를 유지할 수 있는 장점이 있다.

이를 통해 기준 영상과 대상(Slave)영상 정합 시 단순한 부등각 사상 변환(아핀 변형, affine transform)만으로 정합이 가능하게 된다.

제안된 유리함수기반 표고시차보상기법은 RFM(Rational Function Model)을 사용하여 정사투영영상을 생성하는 방안이 아닌 기준밴드 기하(Master Geometry)로 대상(Slave)밴드를 재배열(Resampling)하여 밴드간 발생하는 표고시차(Terrain Relief)를 보상하는 알고리즘이다.

정사투영영상 생성과 마찬가지로 표고시차보상기법을 적용하기 위해서는 센서모델링이 필요하며, 본 논문에서는 일반적으로 많이 제공되는 RPC를 사용하는 RFM을 사용하도록 한다.

2장에서는 제안된 유리함수기반 표고시차보상기법을 설명하고, 3장에서는 이를 적용한 실험결과와 4장에서는 결론에 대해서 기술하도록 하겠다.

## 2. 유리함수기반 표고시차보상 기법

### 2.1 유리함수 모델(RFM, Rational Function Model)

RFM은 위성의 물리적인 데이터를 사용하는 물리적 센서 모델(Physical sensor model)과 달리 지표면 표고 특성과 관계없는(Terrain independent) 특성을 가지고 있다. 이런 특성은 지형변화 변화가 큰 경우 지형변화차이에 관계 없이 모델이 일정한 지형상 위치 정확도(Geolocation Accuracy)를 가지는 것을 의미한다(Jeff Zhizhong, Xu. 2004.). RFM은 입력영상에 최대, 최소 높이 정보를 추출하고, 추출된 높이를 정의된 레이어 수로 나뉘, 나뉜 레이어 수에 따라 일정비율로 생성된 RPC를 사용한다. 생성된 RPC는 높이 변화가 큰 지형에 대한 변이율을 평균 고도 값으로 일반화하여 계수를 생성하기 때문에 RFM은 높이 변화가 큰 지역에 대해서도 강인하다. 이러한 특성은 지형표고 변화가 큰 지역일수록 강인하게 나타난다(Hong-Gyoo, S.et al. 2005.).

제안된 알고리즘에 사용된 RFM은 정변환(Forward)와 역변환(Inverse) 두 가지 형태로 나타날 수 있다(Vincent Tao, C. and Hu, Young. 2001; Vincent Tao, C. and Hu, Young. 2002; Hu, Young and Vincent Tao, C. 2002.).

Forward RFM은 영상 좌표계(column, row)를 지상 좌표계(X, Y, Z)로 나타나는 모델로 위성영상 제공 시 생성된 RPC 계수를 사용하여 계산한다.

$$row = \frac{f_1(X, Y, Z)}{f_2(X, Y, Z)} \quad (1)$$

$$col = \frac{f_3(X, Y, Z)}{f_4(X, Y, Z)} \quad (2)$$

여기서, 사용된 (row, col)은 정규화된 열, 행이고, (X, Y, Z)도 정규화된 위도, 경도, 높이를 사용한다.

Inverse RFM은 지상 좌표계 (X, Y)를 (column, row, Z)로 나타내는 모델이다.

$$X = \frac{f_5(c, r, Z)}{f_6(c, r, Z)} \quad (3)$$

$$Y = \frac{f_7(c, r, Z)}{f_8(c, r, Z)} \quad (4)$$

여기서 사용되는 X, Y는 정규화된 위도, 경도를 사용하고, (c, r, Z)도 정규화된 행, 열, 높이를 사용한다.

$$X_{Normalized} = \frac{X - X_{offset}}{X_{scale}} \quad (5)$$

$$Y_{Normalized} = \frac{Y - Y_{offset}}{Y_{scale}} \quad (6)$$

$$Z_{Normalized} = \frac{Z - Z_{offset}}{Z_{scale}} \quad (7)$$

$$col_{Normalized} = \frac{col - col_{offset}}{col_{scale}} \quad (8)$$

$$row_{Normalized} = \frac{row - row_{offset}}{row_{scale}} \quad (9)$$

RPC 계수에서 제공되는 행, 열, 위도, 경도, 높이(col, row, X, Y, Z)는 모두 정규화된 값으로 축척(Scale)과 편차(Offset)를 사용하여 비정규화(Denormalization)를 수행하여야 한다.

$$col = col_{Normalized} \times col_{scale} + col_{offset} \quad (10)$$

$$row = row_{Normalized} \times row_{scale} + row_{offset} \quad (11)$$

### 2.2 표고시차보상기법(Terrain Relief Correction)

위성 카메라 설계 시 물리적 제약에 의하여 각 밴드 별 CCD라인 또는 한 밴드를 구성하는 다수의 CCD라인들은 서로 다른 관측 각을 가지도록 배치될 수 있다. 각 밴드 별 관측 각 차이로 밴드 영상마다 표고 시차(Height relief)에 의한 영상 왜곡이 달라지게 된다.

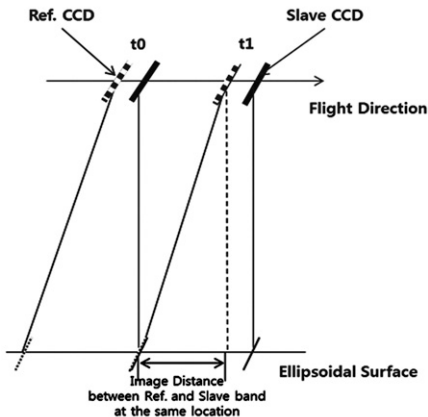


Fig 4. Ground Distance between Reference and Slave band depending on the Height

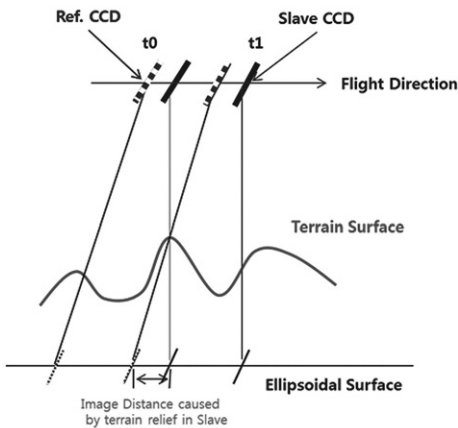


Fig 5. Ground Distance between Reference and Slave band depending on the Height

Fig 4는 밴드마다 각기 다른 관측 각으로 동일한 위치를 촬영할 때 밴드간 발생하는 영상거리 차이를 나타낸 것이다. 이때, 지표면의 표고가 존재하는 경우 밴드간 발생하는 영상거리차이는 Fig 5처럼 줄어들게 된다.

따라서, 영상에서 지표면 고도로 야기되는 표고시차는 밴드마다 기하학이 다를 경우, 표고에 따라 거리차가 커지게 된다. 이로 인하여 다른 기하학을 가지는 밴드간에 특징 점을 사용하여 정합을 수행하는 경우 단순한 부등각 사상 변환(affine transform)만으로 영상간의 정합을 성공적으로 수행하기에는 어려운 문제가 있다. 따라서, 효율적인 정합을 위해서는 영상간에 발생하는 표고시차를 보상하여야 한다.

표고시차보상기법(Terrain relief Correction)은 밴드간 위치차이와 지표면 고도로 발생하는 왜곡을 보상하는 기법이다. 기준밴드와 대상밴드 각각 밴드 별 RFM과 DEM 데이터를 사용하여 대상(Slave)영상을 기준영상과 동일한 Height relief에 의한 왜곡을 가지도록 보상한다. 결과적으로 두 영상간의 표고시차는 제거되게 된다.

밴드 별 RFM을 수립하기 위해서 초점 면(Focal plane)에서 밴드 별 위치가 반영된 모델이 수립되도록 센서 파라미터를 설계한다. 기준밴드가 가지는 기하(Geometry)로 대상(Slave)밴드에 적용하기 위해 먼저, 대상(Slave) 밴드 영상을 일정간격을 가지는 격자를 생성한다. 생성된 격자들은, 기준 밴드와 대상(Slave) 밴드간의 공간 해상도(Resolution)가 다를 경우 두 밴드간의 해상도 비를 고려하여 동일한 해상도를 가지도록 대상밴드 영상을 균일한 크기를 가지는 격자로 나눈다. 이때, 대상밴드의 격자는 기준 밴드가 가지는 해상도를 가지도록 조정된 격자로, 기준밴드 모델을 사용하여 네 코너 격자 점이 나타나는 지상위치를 RFM을 사용하여 계산한다. 기준밴드의 기하로 대상밴드를 변경하기 위해 기준밴드의 지상위치정보를 사용하여 대상밴드에서 영상 위치를 가져오도록 모델을



Fig 6. Terrain Relief Correction Procedure

사용하여 계산한다. 계산된 영상위치는 기준 영상의 지상 위치를 이용하여 대상밴드에서 영상 위치로 재배열 한다.

표고로 발생된 시차를 기준 밴드에서 나타나는 것처럼 대상 밴드에도 적용한 결과 기준 밴드에서 나타나는 왜곡이 대상밴드에서도 동일하게 적용된다. 따라서, 제안된 표고시차보상기법을 수행한 영상에 대해서 밴드정합 수행 시 부등각 사상 변환만 사용하여도 모든 영상이 하나의 영상으로 중첩되는 효과를 나타낼 수 있다.

### 3. 실험 결과

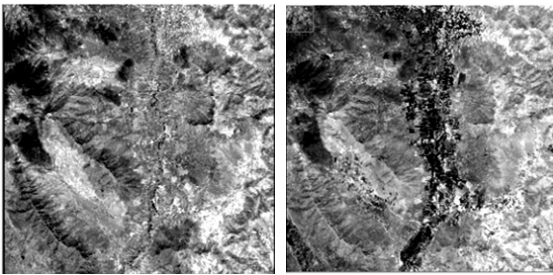
#### 3.1 입력 데이터

##### 3.1.1 영상 데이터

실험에 사용한 영상은 1m급 고해상도 위성영상으로 원격점 기준 전정색(Panchromatic) 밴드에서 공간해상도가 1.0m이고, 다중분광(Multispectral) 밴드는 4.0m의 해상도를 가지는 영상이다. 기준 밴드로는 다중분광 밴드를 사

용하였으며, 대상 밴드로는 전정색 밴드를 사용하였다. 실험에 사용된 영상은 -26.0도 경사각을 가지고 촬영된 영상으로 Fig 8과 같이 두 밴드간 지상거리가 약 13Km 차이가 난다. 실제, 영상 면(Image plane)상 두 밴드간 거리 차이는 약 0.174m차이가 나타나지만, 고도 685km상에서 영상을 촬영하기 때문에 실제 지상에서 두 밴드간 거리차이는 약 13km 차이가 나타난다. 기준밴드는 영상 면(Image plane)에서 원점위치로부터 약 0.318도 관측 각(Look angle)을 가지고, 대상 밴드는 약 0.8842도를 가진다.

실험을 위해 13km의 지상거리차이가 나타나는 센서 파라미터를 사용하였다. 수행된 결과의 정확도 분석을 위해 Fig 9처럼 구글 어스를 사용하여 25개의 지상기준점(GCP, Ground Control Points)을 사용하였다.



(a) Panchromatic image(reference image) (b) Green image(Slave image)

Fig 7. Satellite Images used for experiment

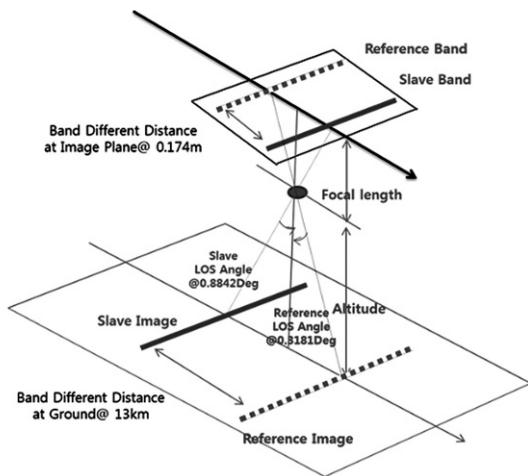


Fig 8. Determined Sensor parameters between Reference and Slave Band at Nadir

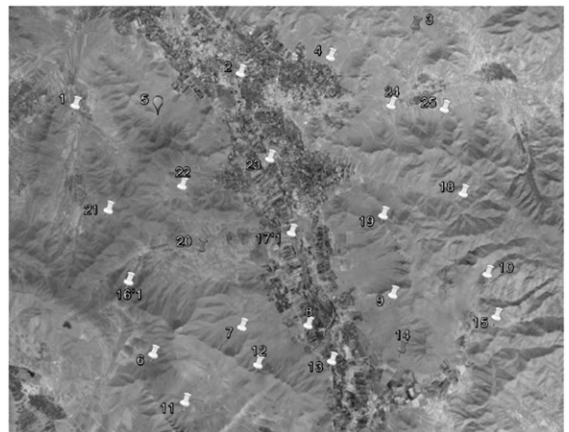


Fig 9. 25 GCPs extracted from Google Earth

##### 3.1.2 SRTM DEM 데이터

본 연구에서 사용한 DEM은 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission) v4버전 DEM 데이터이다(CGIAR-SCI. 2008.). SRTM DEM은 1", 3" 해상도를 가지는 데이터로 제공된다. 1"는 미국지역만을 포함하는 데이터이고, 3"는 전세계를 포함하는 데이터이다.

Table 1. SRTM DEM v4 Information

Map Projection	Geographic Latitude, Longitude	
Horizontal Datum	WGS84	
Vertical Datum	1"[arc sec.]	EGM96
	3"[arc sec.]	WGS84

실험에 사용된 지역은 미국 외 지역으로 전세계적인 데이터를 공급하는 3" 데이터를 사용하였다. 3"는 적도지방

에서 90m 해상도를 가지는 데이터이다.

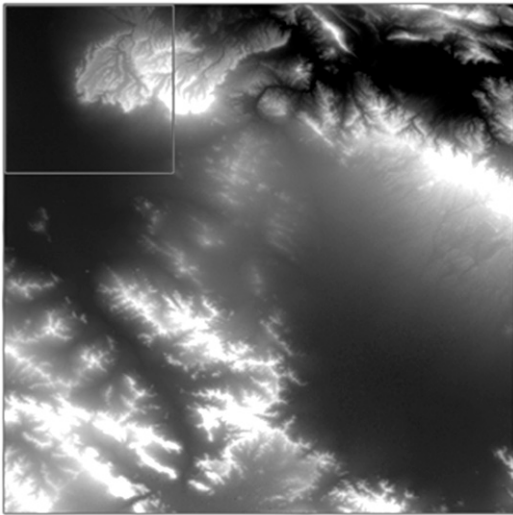


Fig 10. SRTM v4 DEM

실험에 사용된 SRTM DEM 데이터는 Table 1과 같은 지도 투영(Map Projection)정보와 기준타원체, 수직기준면 등의 정보로 정의되어 있다. 실험에 사용된 DEM 데이터 정확도는 설계된 25점 GCP에 대응되는 DEM 데이터간의 높이 차이를 확인하여 정확도를 분석하였다. 이때, 높이 정확도는 FGDC(Federal Geospatial Positioning Data Committee)에서 정의한 LE90(Linear Error 90%) 식을 사용하여 계산하였다(Zanoni et al. 2004). 실험에 사용된 DEM 정확도는 LE90기준 오차가 0.9m로 나타난다.

Table 2. Accuracy Analysis of DEM

	GCP's Height[m]	SRTM DEM Height[m]	Height Errors[m]
MIN	1753	1752.650195	-6.48426
MAX	2411	2411.895478	1.540889
AVG	2003.28	2001.41871	-1.86129
		RMSE <sub>Height</sub>	0.548294
		LE90	0.906878

### 3.2 실험 방법

표고 시차가 보상된 영상은 지형지물 왜곡이 기준밴드가 보는 왜곡으로 영상들을 재배열하여 나타나기 때문에 동일한 표적 위치에 대해 대상 밴드에서 위치 이동만으로 밴드간 정합이 수행될 수 있다. 이를 위해 위치이동과 회

전이 고려되는 부등 사상 변환(Affine transform)을 적용하여 표고시차가 보상된 영상간 정합을 수행하였다. 또한, 입력 영상과 수행된 결과영상을 사용한 정합정확도를 비교하여 제안된 알고리즘이 성공적으로 수행되는 지 확인하였다.

### 3.3 입력영상 정합정확도 확인

원본 영상간 정합 정확도를 확인하기 위해, 설계된 25 점에서 기준 영상과 대상 영상이 동일한 위치에 중첩되는 지를 영상의 픽셀 위치로 위치에러로 나타내어 확인하였다.

원본 영상은 특정 지형지물(Feature)을 추출하여 영상간 정합을 수행한 결과로써, 영상 전체적인 정합정확도는 약 1.17픽셀 RMSE 에러를 나타낸다. GCP ID 3의 경우 행, 열 방향으로 에러가 각각 약 6픽셀, 약 9픽셀로 높게 나타난다. GCP ID 19의 경우, 열 방향으로 에러가 약 10픽셀로 높게 나타난다. 열 방향으로 에러가 높게 나타나는 ID 3, 8, 19의 경우 구글 어스 기준 지표면의 타원체고가 각각 1955m, 1803m, 2226m로 타원체고 범위가 1753~2411m인 지역임을 감안할 때, ID 3과 19는 지표면 고도로 발생하는 에러로 확인할 수 있다. 지표면 고도에 따른 열방향 에러를 그래프로 나타내면 Fig 11과 같다. 그래프(Fig 11)에서 지표면 표고가 증가할 수록 영상 정합도가 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

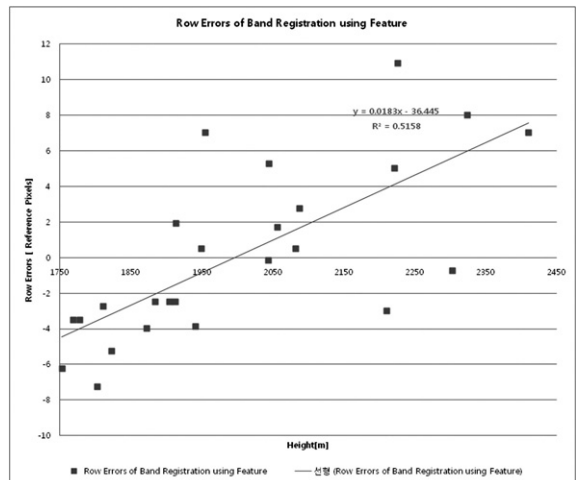


Fig 11. Registration Accuracy between Reference and Slave Band depending on Height

Table 3. Band Registration Accuracy between Reference and Slave Band of Input

GCP ID	Reference Image[pixels]		Slave Image[pixels]		Registration Errors[pixels]		Google Earth[m]
	Column	Row	Column	Row	Cols Errors	Rows Errors	Height
1	994.63	883.13	996	886.75	-1.37	-3.62	1884
2	7485.25	915	7483.25	919.25	2	-4.25	1753
3	14427	787	14420.75	778	6.25	9	1955
4	10995	1192.75	10994	1189	1	3.75	1823
5	4122	1517.5	4123	1518	-1	-0.5	1904
6	1307	11933.88	1307.08	11929	-0.08	4.88	2303
7	4906	11750	4903.71	11746.29	2.29	3.71	2057
8	7465.5	12376.75	7465.5	12382	0	-5.25	1803
9	10843	11955	10841	11951.13	2	3.87	2045
10	14432.25	12032.5	14428.75	12022.5	3.5	10	2324
11	2047.25	14296	2047.62	14291.62	-0.37	4.38	2211
12	5013	13456	5014	13450.13	-1	5.87	2411
13	7988.75	14154	7986.92	14156.83	1.83	-2.83	1811
14	10687.57	14352.43	10684.75	14351.5	2.82	0.93	1914
15	14510.83	13953.5	14508.15	13948.62	2.68	4.88	2044
16	1134.88	8647	1134.85	8642	0.03	5	2222
17	7777	8268.5	7776.92	8271.38	0.08	-2.88	1778
18	14464.75	8387.5	14461.25	8382.08	3.5	5.42	2088
19	11115.4	8476.4	11113.77	8465.85	1.63	10.55	<b>2226</b>
20	4183	7956	4184.14	7957.86	-1.14	-1.86	1941
21	1137	5408.5	1140	5406	-3	2.5	2082
22	4090.86	5097	4088	5097.5	2.86	-0.5	1913
23	7723	4876	7722	4877.5	1	-1.5	1769
24	11537	4395	11535	4397	2	-2	1872
25	14697.5	4610.5	14694.38	4608	3.12	2.5	1949

<b>MIN</b>	-3	-5.25
<b>MAX</b>	6.25	10.55
<b>Range</b>	9.25	15.8
<b>AVG</b>	1.2252	2.082
<b>RMSE</b>	0.50739	1.05551
<b>RMSE<sub>Total</sub></b>	1.17113	

### 3.4 유리함수기반 표고시차보상 후 정합정확도 확인

유리함수기반 표고시차보상 후 정합정확도 확인을 위해 affine model을 사용하여 Band Registration을 수행하였다. Table 4는 수행된 결과의 정합정확도를 분석하기 위해 설계된 GCP 25점 동일한 표적을 사용하여 기준 밴드와 대상 밴드간의 위치차이를 나타내었다.

기준 영상과 기준 영상으로 표고시차가 보상된 영상간 부등각 사상 변환을 사용하는 정합결과 정합 정확도가

약 0.40픽셀 RMSE 에러로 나타난다. 이때 픽셀은 기준영상인 전정색 밴드 픽셀단위를 기준으로 계산하였다. 원본 영상에서 에러가 많이 나타난 ID 3, 8, 19의 경우, 표고시차가 보상되어 원본 영상에서 나타나는 기준 영상 대비 대상 영상에서 위치차이가 더 적게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 지표면 고도가 위성 진행 방향으로 영상에 열 방향으로 영향을 미치는 지 그래프 Fig 12으로 확인하였다.

Table 4. Accuracy of Band Registration using Affine model between Reference and Slave Band

GCP ID	Slave Image[pixels]		Reference Image[pixels]		Band Registration Errors[pixels]		Google Earth
	Column	Row	Column	Row	Cols Errors	Rows Errors	Height [m]
1	997	884.75	996	882.75	1	2	1884
2	7484.38	917	7483.25	919.25	1.13	-2.25	1753
3	14423	780	14420.75	778	2.25	2	1955
4	10993	1190	10994	1189	-1	1	1823
5	4123	1517	4123	1518	0	-1	1904
6	1308.08	11929	1307.08	11929	1	0	2303
7	4905.88	11749.13	4903.71	11746.29	2.17	2.84	2057
8	7465.5	12381	7465.5	12382	0	-1	1803
9	10841	11952.13	10841	11951.13	0	1	2045
10	14429.38	12023.5	14428.75	12022.5	0.63	1	2324
11	2049.25	14293.25	2047.62	14291.62	1.63	1.63	2211
12	5013.88	13449.13	5014	13450.13	-0.12	-1	2411
13	7987	14158	7986.92	14156.83	0.08	1.17	1811
14	10685.75	14353.5	10684.75	14351.5	1	2	1914
15	14507.13	13949.13	14508.15	13948.62	-1.02	0.51	2044
16	1136.85	8642.08	1134.85	8642	2	0.08	2222
17	7776	8271.38	7776.92	8271.38	-0.92	0	1778
18	14461	8380.38	14461.25	8382.08	-0.25	-1.7	2088
19	11113.25	8466.5	11113.77	8465.85	-0.52	0.65	<b>2226</b>
20	4184	7957	4184.14	7957.86	-0.14	-0.86	1941
21	1140	5406.5	1140	5406	0	0.5	2082
22	4090	5097.13	4088	5097.5	2	-0.37	1913
23	7722	4879	7722	4877.5	0	1.5	1769
24	11534	4394	11535	4397	-1	-3	1872
25	14693.38	4606.63	14694.38	4608	-1	-1.37	1949
					MIN	-1.02	-3
					MAX	2.25	2.84
					Range	3.27	5.84
					AVG	0.3568	0.2132
					RMSEX/Y	0.239574	0.316486
					RMSE <sub>Total</sub>	0.396937	

그래프에서 표고시차가 보상되지 않은 영상(Row Errors of Band Registration using Feature)은 영상 정합 후 지표면 고도가 높아질수록 열 방향으로 에러가 증가하는 패턴을 보여준다. 반면, 표고시차가 보상된 영상(Row Errors of RFM)은 영상의 정합 후 지표면 표고가 증가하여도 열 방향으로 에러가 증가하지 않고, 특정 지역에 대해서 랜덤한 에러가 나타나게 된다. 따라서, 표고시차보상기법이 적용된 영상에서는 지표면 고도차로 발생하는 밴드간 시차가 보상되는 것을 확인할 수 있었다. 이때 발생한 랜덤

한 에러는 플랫폼의 다이내믹스(Dynamics)로 발생하는 것으로 판단된다.

실험 결과 제안된 유리함수 모델 기반 표고시차 보상 기법을 적용한 영상으로 부등각 사상 변환을 사용하는 밴드 정합시 정합 정확도는 약 0.40픽셀 RMSE로 원본영상 정합에서 얻었던 RMSE 대비 0.77픽셀 RMSE가 감소되어 성공적으로 수행되는 것을 확인할 수 있었다.

따라서, 제안된 알고리즘으로 표고시차가 발생하는 밴드간 영상에 적용하여 정합을 수행할 경우 밴드간 정합을



이 향상될 것으로 예상된다.

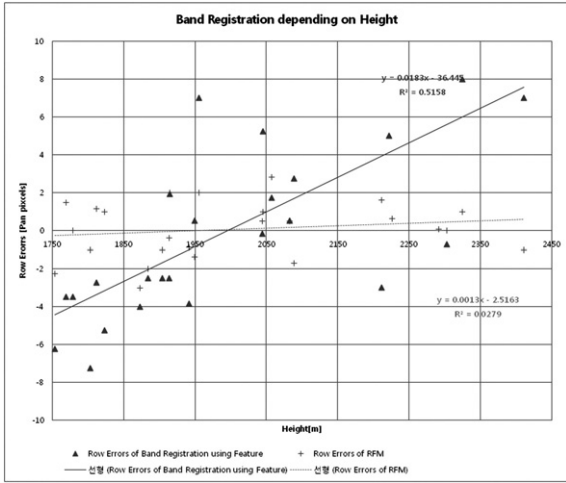


Fig 12. Band Registration results compared with using RFM and Using Feature

#### 4. 결론

본 연구는 위성 초점 면상 밴드간 위치 차이와 촬영지역 표고에 따라 기준밴드와 대상밴드간 발생하는 표고시차분석과 이를 보상하는 알고리즘을 제안하였다. 분석결과, 두 밴드간에 다른 관측각을 가진 경우 두 밴드 영상간에는 표고시차가 존재하며, 표고시차는 각 밴드간의 관측각의 차이와 지상 지형의 높이의 함수로 주어진다. 이러한 표고시차는 두 영상간의 정합이 필요한 경우 정합오차를 유발하게 된다. 그러므로, 고해상도 영상에서 정밀한 밴드 간 영상 정합을 위해서는 표고시차의 보상이 필요하다. 표고시차는 정사영상을 생성하여 해소할 수 있으나, 원본 영상의 대상영상은 물론 기준영상도 재배열되는 단점이 있다.

본 논문에서는 각각의 밴드 별로 주어진 RFM과 DEM을 이용하여 원본 기준영상(Reference Image)을 재배열하지 않고, 대상영상만을 재배열 하여 표고시차를 해소하는 방안을 제시하였다. 제안된 방법은 기준영상의 영상좌표에 해당하는 대상영상의 영상좌표를 주어진 RFM과 DEM을 이용하여 계산하여 재배열하는 방법을 이용하였다. 따라서, 표고시차 보상 후, 기준 밴드가 보는 관측각으로 대상밴드 영상을 재배열하였기 때문에, 표고시차 보상 후 단순히 부등각 사상 변환만을 사용하여 정합을 수행하여

도 기준밴드와 대상밴드간의 정합 성공율이 높아지는 것을 확인할 수 있었다.

제안된 알고리즘은 위성 초점 면상 밴드 위치와 정확도가 높은 표고 정보 추출이 중요하다. 초점 면상 밴드 위치는 밴드간 기하학적 모델을 수립하기 위해서 초점 면상 밴드 위치 차이로 관측 각이 결정하게 된다. 정확도 있는 표고 정보 추출은 동일 지역 촬영 시 각기 다른 관측각으로 촬영된 영상들에 나타나는 정확한 지형의 표고 정보가 추출되어야 각 밴드마다 바라보는 관측 각 벡터(Look vector)를 복원할 수 있기 때문이다.

따라서, 제안된 알고리즘은 동일 센서가 탑재하는 밴드 간 지상거리 차가 큰 영상에 대해서 밴드 정합을 수행하는 경우, 관측각 차이로 각 밴드 별 동일 지역을 촬영 시 바라보는 각과 지형 표고로 발생하는 밴드 정합 오차를 효과적으로 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구의 실험을 위해 아리랑위성 2호기의 영상을 사용하도록 허락해 주신 한국항공우주연구원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

CGIAR-SCI. (2008), *SRTM 90m Digital Elevation Data*, August 19, CGIAR-SCI, <http://srtm.csi.cgiar.org/>.

Daniela Poli. (2001), General Model for Multi-Line CCD Array Sensors. Application for Cloud-top Height Estimation, *3rd International Image Sensing Seminar on New Development in Digital Photogrammetry*, Gifu, Japan, 24-27 September 2001.

Francoise De Lussy, Philippe Kubik, Daniel Greslou, Véronique Pascal and Patrick Gigord, (2005), Pleiades-HR image system products and quality Pleiades-HR image system products and geometric accuracy, *In Proceedings of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Workshop*, Hannover, Germany, 17-20 May 2005.

Greslou, D. and Delussy, F. (2006), Geometric Calibration of Pleiades Location Model, *ISPRS, Commission I*, Poster Session2 - WGs I/1, I/2, I/6.

Hong-Gyoo, S., Chong-Hwan, P., and Hoon, C. (2005), Rational Functional Model-based Image Matching For Digital Elevation Models, *The Photogrammetric Record*

- 20(112), pp. 366-383, December 2005.
- Hu, Young and Vincent Tao, C. (2002), Updating Solution of the Rational Function Model Using Additional Control Information, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, July 2002, pp. 707-714.
- Jacobsen, K. (2006), *Calibration of Imaging Satellite Sensors*, ISPRS volume number: XXXVI-1/W41, Ankara, Turkey.
- Jean-Luc, L., Catherine Gaudin-Delarieu., David, V., Christophe, R., Thierry T. and Jean-Marc, L. (2004), Design of The High Resolution Optical Instrument for The Pleiades HR Earth Observation Satellites, *Proceeding of the 5th International Conference on Space Optics (ICSO 2004)*, 30 March-2 April 2004, Toulouse, France.
- Jeff Zhizhong, Xu. (2004), *The Rational Function Model(RFM) in Photogrammetric Mapping Method and Accuracy*, the degree of master, York University, pp. 15-45.
- Kocaman, S. and Gruen, (2007), A Rigorous Sensor modeling of ALOS/PRISM Imagery. *8th Conference on Optical 3D Measurement Techniques*, Zurich, Switzerland, 9-12 July.
- Vincent Tao, C. and Hu, Young. (2001), A Comprehensive Study of The Rational Function Model for Photogrammetric Processing, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 67, No.12, pp. 1348-1357.
- Vincent Tao, C. and Hu, Young. (2002), 3D Reconstruction Methods Based on the Rational Function Model, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol.68, No.7, pp. 707-714.
- Zanoni, V., Pagnutti, M., Ryan, R., Helder, D., Lehman, W., Roylance, S., and Snyder, G. (2004), *The Joint Agency Commercial Imagery Evaluation(JACIE) team and product characterization approach*, ISPRS, Post-Launch Calibration of Satellite Sensors Morain & Budge 2004 Taylor & Francis Group, pp. 135-141.

---

(접수일 2011. 12. 02, 심사일 2011. 12. 13, 심사완료일 2012. 01. 19)