

## 고해상도 광학영상과 SAR영상으로부터 생성된 수치표고모델의 정확도 분석 Accuracy Analysis of DEMs Generated from High Resolution Optical and SAR Images

김 충<sup>1)</sup> · 이동천<sup>2)</sup> · 염재홍<sup>3)</sup> · 이용욱<sup>4)</sup>

Kim, Chung · Lee, Dong-Cheon · Yom, Jae-Hong · Lee, Young Wook

<sup>1)</sup> 한국지오매틱스 공간정보사업부(E-mail: kc4643@hanmail.net)

<sup>2)</sup> 세종대학교 공과대학 지구정보공학과 교수(E-mail: dclee@sejong.ac.kr)

<sup>3)</sup> 세종대학교 공과대학 지구정보공학과 교수(E-mail: jhyom@sejong.ac.kr)

<sup>4)</sup> 대한측량협회 측량정보기술연구원 선임연구원(E-mail: ywlee@kasm.or.kr)

### Abstract

Spatial information could be obtained from spaceborne high resolution optical and synthetic aperture radar(SAR) images. However, some satellite images do not provide physical sensor information instead, rational polynomial coefficients(RPC) are available. The objectives of this study are: (1) 3-dimensional ground coordinates were computed by applying rational function model(RFM) with the RPC for the stereo pair of Ikonos images and their accuracy was evaluated. (2) Interferometric SAR(InSAR) was applied to JERS-1 images to generate DEM and its accuracy was analysis. (3) Quality of the DEM generated automatically also analyzed for different types of terrain in the study site.

The overall accuracy was evaluated by comparing with GPS surveying data. The height offset in the RPC was corrected by estimating bias. In consequence, the accuracy was improved. Accuracy of the DEMs generated from InSAR with different selection of GCP was analyzed. In case of the Ikonos images, the results show that the overall RMSE was 0.23327", 0.11625" and 13.70m in latitude, longitude and height, respectively. The height accuracy was improved after correcting the height offset in the RPC. *i.e.*, RMSE of the height was 1.02m. As for the SAR image, RMSE of the height was 10.50m with optimal selection of GCP. For the different terrain types, the RMSE of the height for urban, forest and flat area was 23.65m, 8.54m, 0.99m, respectively for Ikonos image while the corresponding RMSE was 13.82m, 18.34m, 10.88m, respectively for SAR image.

## 1. 서 론

최근에는 전 세계적으로 고해상도 위성영상과 SAR(synthetic aperture radar) 영상의 활용이 증대되고 있는 추세이다. 국내에서도 고해상도 영상을 수신하기 위한 다목적위성 2호가 계획되고 있으며, 이에 따른 연구도 활발히 진행 중에 있다. 고해상도 영상은 높은 공간해상도 영상을 제공함으로써 지형·지물에 대한 정량적 정성적 정보를 보다 정확하게 추출할 수 있으며, 특히 도심지역의 대축척지도 및 정밀 영상지도의 제작이 가능하게 되었다. 그러나 탑재센서에 대한 물리적인 정보를 직접 제공하지 않고, 비례다항식계수(rational polynomial coefficients; RPC)를 제공하는 경우에는 비례함수모델(rational function model; RFM)을 적용한 공간교회법(space intersection)에 의해 3차원 지상좌표를 산출할 수 있다. SAR는 마이크로파 영역의 신호를 송수신하므로 대기조건 및 자료획득 시간의 제약을 적게 받고 지표면의 기하적, 형태적, 물리적 특성에 민감하므로 지구표면을 효과적으로 관측할 수 있는 장점이 있다. SAR 자료는 반사신호의 진폭정포와 위상정보를 제공한다. 지표면에 대하여 서로 다른 위치에서 획득된 두 SAR 자료간의 위상차를 이용한 레이더간섭(radar interferometry)기법은 지표의 고도와 이동물

체의 속도 측정을 가능하게 한다.

고해상도 위성영상인 Ikonos 영상은 국내외적으로 많은 관심에 부응하여 연구가 진행되고 있다. 최근의 대표적인 연구로는 영상등록, 영상의 기하학적 왜곡 및 센서모델에 대한 연구, 수치표고모델(DEM) 추출을 위한 영상정합 알고리즘 연구와 도심지역에 대한 DEM 생성(김태정 외, 2002), 효율적이고 경제적인 영상의 활용을 위한 지상기준점의 활용과 이에 따른 정확도 검증에 관한 연구(Li 외, 2000), 메타데이터로부터 RFM이 개발하여 산악지역 매핑에 활용, RPC에 의한 결과와 물리적 센서모델에 의한 결과에 대한 정확도 비교분석, 3차원 위치정확도에 관한 연구(Frase, 2001), Ikonos 영상과 항공사진을 사용한 해안선 추출 결과의 비교, 상향식 RFM(forward FRM)과 하향식 RFM(inverse FRM)의 복합사용에 관한 연구(Tao 외, 2002), RPC와 직접선형변환식(direct linear transform; DLT)의 관계를 연구하여 센서모델 복원의 시도(Di 외, 2003), 광속조정법(bundle adjustment)을 적용한 위치 정확도 향상, RPC의 편차보정에 관한 연구, Ikonos 영상의 기하학적 오차보정, 기준점과 정확도 향상에 관한 연구(박준규, 2003) 등 매우 다양하고 실용적인 연구가 계속 진행 중에 있다. 곧 국내에서도 자체위성을 통하여 고해상도 영상을 직접 획득하고 운영하게 되므로, 이와 관련한 연구는 매우 중요하다.

SAR에 대한 연구는 오래 전부터 진행되어져 왔으며, 최근의 대표적인 연구로는 간섭기법을 이용한 표고 매핑, ERS-1의 간섭기법으로 생성되는 표고값의 정확도에 대해 연구(Zebker, 1994), SAR 영상으로부터 생성된 DEM의 정확도 분석(Iwamoto, 1997), SAR 영상의 layover와 shadows에 대한 자동 지상좌표획득, SAR의 간섭기법을 이용해서 DEM의 정확도 향상에 관한 연구(Seymour, 1998), 상호상관 방법에 의한 SAR 영상의 자동 기하보정, 두 개의 JERS-1 SAR 영상을 이용한 숲에 대한 표고 분석에 관한 연구, ERS tandem자료를 사용하여 두 개의 SAR 영상에서 생성된 DEM과 수치지형도로부터 추출한 DEM으로 지형영향의 제거에 의한 지형과 변위에 대한 위상효과 분리, JERS-1 SAR 영상을 이용한 지반 침하량 관측에 관한 연구(김상완 외, 2002) 등이 있으며, 특히 국내에서도 향후 발사가 계획된 SAR 위성에 대한 연구는 더욱 활발하게 진행될 것이다.

본 연구에서는 고해상도 위성영상인 Ikonos 영상에 RFM을 적용하고, JERS-1 SAR 영상에 레이더 간섭기법을 적용하여 3차원 지상정보를 추출하고 다양한 경우에 대한 정확도를 비교 분석하였으며 또한, GPS(global positioning system)에 의한 지상기준점 자료를 이용하여 Ikonos 영상의 RPC의 초기 표고값을 보정하였고 JERS-1 영상에 대해서는 지상기준점 선점에 따른 정확도를 평가하였다.

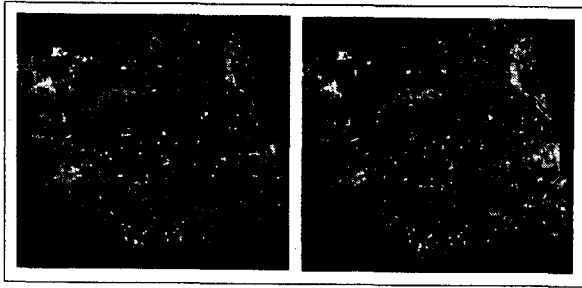
## 2. 연구지역 및 사용데이터

### 2.1 연구대상 지역

연구 대상지역은 대전광역시 일대이며 면적은 약 8.5km x 8.5km(127°19.6' E~127°25.0' E, 36°17.5' N ~36°21.9' N에 해당)이다. 이 지역은 도심지, 주거지, 산림지, 농작지 등 다양한 형태의 지형·지물이 분포되어 있으며, 입체 Ikonos 영상이 촬영된 지역이다. 그림 1과 그림 2는 연구 대상지역에 대한 Ikonos 영상과 JERS-1 SAR 영상을 보여주고 있다.

### 2.2 데이터의 제원

표 1과 표 2에 Ikonos 영상과 JERS-1 SAR 영상에 대한 제원이 요약되어 있으며, 한 쌍의 SAR 입체 영상을 구성하기 위한 기선정보는 표 3에 있다. 그림 3은 지상기준점의 분포를 보여주고 있으며, 표 4는 Ikonos RPC에 포함된 정보이다.



(가) 왼쪽 영상 (나) 오른쪽 영상

그림 1. 연구대상지역의 입체 Ikonos 영상  
(e-HD.com 제공)

표 1. IKONOS 영상의 제원

	IKONOS Left	IKONOS Right
Producer	Space Imaging Inc.	
Sensor	IKONOS-2	
Processing Level	Standard Geometrically Corrected	
Image Type	PAN/MSI	
Datum	WGS84	
Resolution	1 meters	
File Format	TIFF	
Bits per Pixel per Band	8 bits per pixel	
Stereo	Left	Right
Acquisition Date/Time	2001-11-19 02:19 GMT	2001-11-19 02:18 GMT

표 2. JERS-1 영상의 제원

Producer	NASDA Inc.
Sensor	SAR
Processing Level	0
Image Type	L-band raw data
Earth Ellipsoid	TOKYO
Resolution	18 meters
File Format	Raw data
Logical Format	CEOS-BSQ
Path-Row	87 - 240
L-band	1.275 GHz

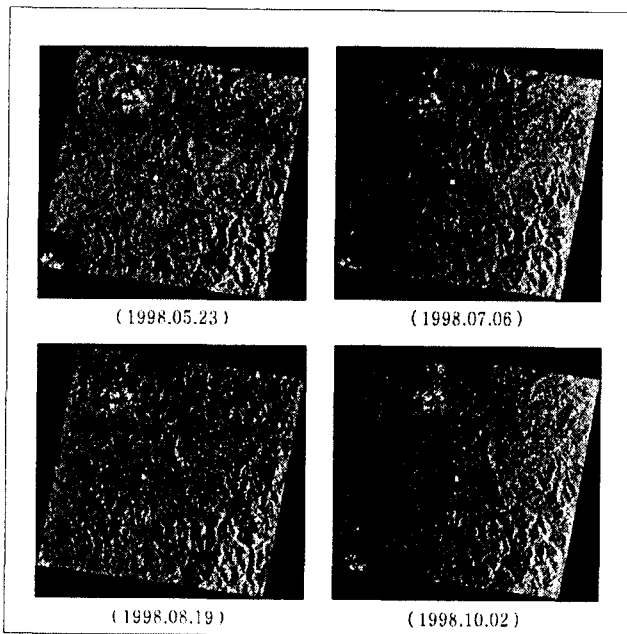
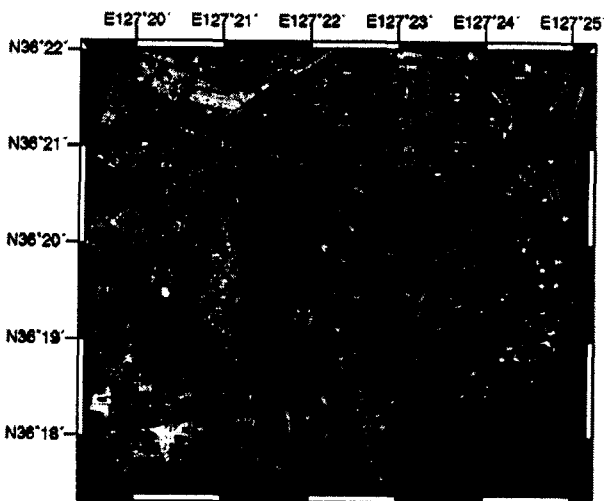


그림 2. JERS-1 SAR 영상 (괄호는 촬영일자)

표 3. JERS-1 입체영상 구성에 대한 기선

	980523	980706	980819	981002
980523				
980706	3376.52 m			
980819	2496.58 m	879.62 m		
981002	1587.38 m	1789.89 m	910.50 m	

표 4. Ikonos RPC 자료의 내용



Parameter	Description
LINE_OFF	image row coordinate offset value
SAMP_OFF	image column coordinate offset value
LAT_OFF	ground latitude offset value
LONG_OFF	ground longitude offset value
HEIGHT_OFF	ground height offset value
LINE_SCALE	image row coordinate scale value
SAMP_SCALE	image column coordinate scale value
LAT_SCALE	ground latitude scale value
LONG_SCALE	ground longitude scale value
HEIGHT_SCALE	ground height scale value
LINE_NUM_COEFF	numerator of row term
LINE_DEN_COEFF	denominator of row term
SAMP_NUM_COEFF	numerator of column term
SAMP_DEN_COEFF	denominator of column term

그림 3. Ikonos 정사영상에 표시된 지상기준점 위치

### 3. 데이터 처리 및 결과

#### 3.1 Ikonos 영상의 RFM에 의한 DEM 생성

입체 Ikonos 영상에 제공되는 RPC로 구성된 RFM은 다음과 같이 3차 비례다항식으로 표시된다.

$$R_L = \frac{p_1(X, Y, Z)}{p_2(X, Y, Z)}, \quad C_L = \frac{p_3(X, Y, Z)}{p_4(X, Y, Z)} \quad (1)$$

$$R_R = \frac{p_5(X, Y, Z)}{p_6(X, Y, Z)}, \quad C_R = \frac{p_7(X, Y, Z)}{p_8(X, Y, Z)} \quad (2)$$

여기서  $R_L, C_L$  : 왼쪽 영상의 행과 열,  $R_R, C_R$  : 오른쪽 영상의 행과 열

$$p = \sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} a_{ijk} X^i Y^j Z^k, \quad (m1, m2, m3 = 3), \quad a_{ijk} : \text{비례다항식 계수(RPC)}$$

$X, Y, Z$  : 지상좌표

RPC에 포함된 offset과 scale 값을 이용하여 정규화된 좌·우영상좌표로 변환한 후 공간교회법 (space intersection)으로 3차원 지상좌표를 산출하게 된다.

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial R_L}{\partial X} & \frac{\partial R_L}{\partial Y} & \frac{\partial R_L}{\partial Z} \\ \frac{\partial C_L}{\partial X} & \frac{\partial C_L}{\partial Y} & \frac{\partial C_L}{\partial Z} \\ \frac{\partial R_R}{\partial X} & \frac{\partial R_R}{\partial Y} & \frac{\partial R_R}{\partial Z} \\ \frac{\partial C_R}{\partial X} & \frac{\partial C_R}{\partial Y} & \frac{\partial C_R}{\partial Z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_L - R_{oL} \\ C_L - C_{oL} \\ R_R - R_{oR} \\ C_R - C_{oR} \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서  $R_L, C_L$  : 왼쪽 영상의 정규화된 행과 열,  $R_R, C_R$  : 오른쪽 영상의 정규화된 행과 열  
 $R_{oL}, C_{oL}$  : 왼쪽 영상의 초기 행과 열,  $R_{oR}, C_{oR}$  : 오른쪽 영상의 초기 행과 열  
 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  : 위도, 경도, 타원체고의 보정량

#### 3.2 JERS-1 SAR의 Interferometry(InSAR)에 의한 DEM 생성

InSAR 기법에 의한 SAR 자료 처리과정은 그림 4로 요약되며, 그림 5는 처리단계에서 생성되는 결과를 보여주고 있다. 주영상(master)은 1998년 8월 19일, 부영상(slave)은 1998년 10월 2일에 획득한 자료로 interferogram을 생성하여 DEM을 추출하였다.

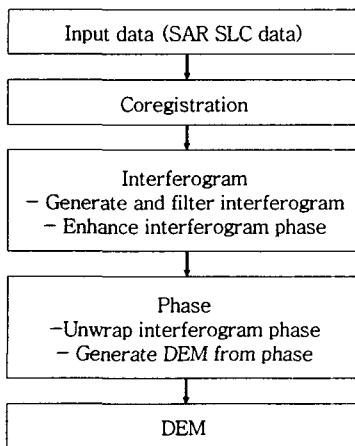


그림 4. SAR 자료 처리과정

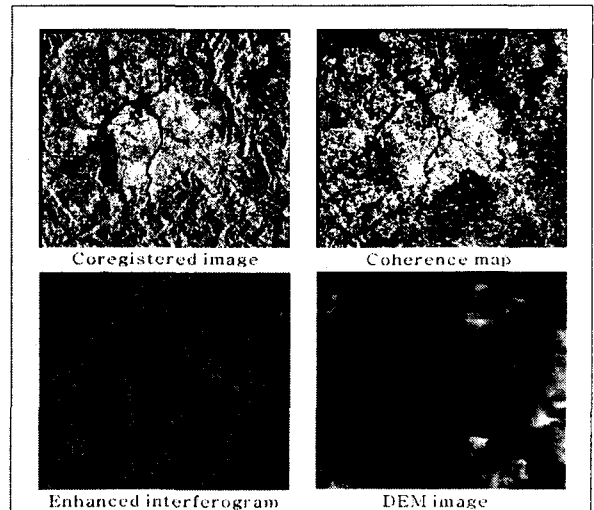


그림 5. 단계별 SAR 자료처리 결과

### 3.3 정확도 분석

#### 3.3.1 지상기준점에 의한 전반적인 정확도

Ikonos 영상의 RPC에 의한 3차원 좌표 정확도를 분석한 결과, 수동으로 매칭점을 관측한 경우 GCP를 기준으로 RMSE(root mean square error)는 위도방향으로 7.18m, 경도방향으로 3.59m이며, 표고는 대하여 대략 -14.0m로 일정한 값만큼 편의(bias) 되어 있음을 알 수 있었다 (그림 7, 그림 8).

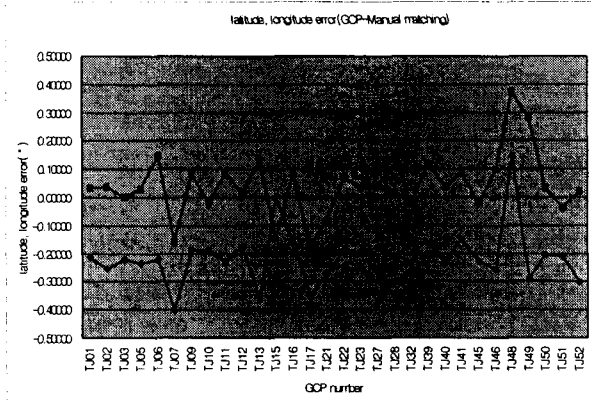


그림 7. 위도 및 경도 방향의 잔차

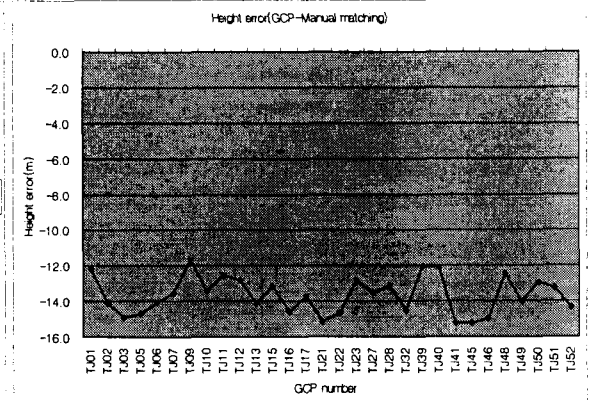


그림 8. 표고잔차 (수동매칭)

자동으로 매칭한 경우의 표고도 수동매칭 결과와 유사한 값인 -13.3m 편이되었다 (그림 9).

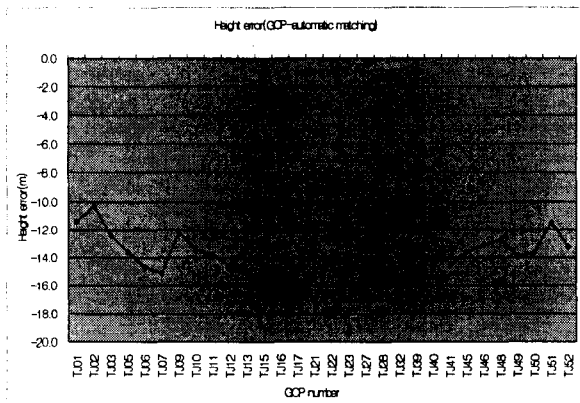


그림 9. 표고잔차 (자동매칭)

정밀 GCP의 정보로부터 산출된 편이값을 Ikonos 영상의 RPC 초기값에 고려하여 보정된 초기 근사값을 사용하면, 표고에 대한 RMSE를 1.02m로 감소시킬 수 있어 정확도를 향상시킬 수 있었다.

InSAR로부터 생성된 DEM의 정확도는 그림 10에서 보여주는 것처럼 GCP의 선점에 영향을 받음을 알 수 있으며, 이에 따른 표고에 대한 RMSE는 최소 10.50m (GCP No.40 선택)이고, 최대 54.77m (GCP No.22 선택) 이었다.

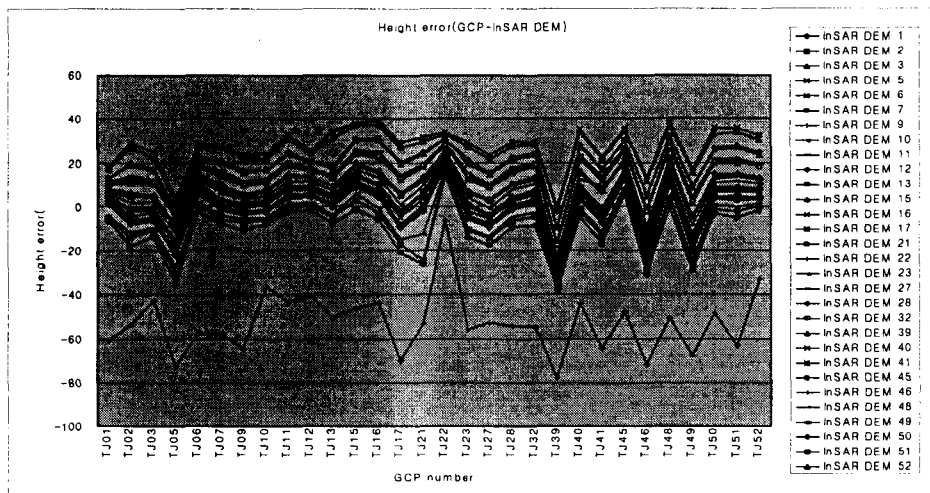
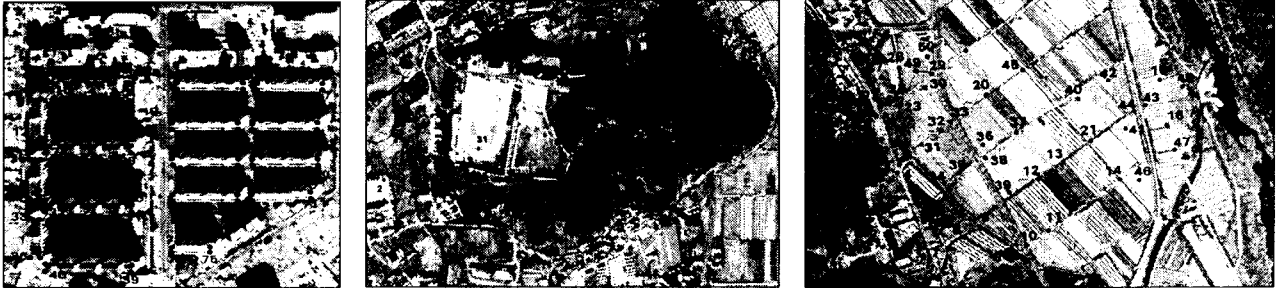


그림 10. SAR DEM의 GCP 선점에 따른 표고잔차

### 3.3.2 지역 및 지형에 따른 정확도

대상지역을 그림 11과 같이 도심지, 산림지 및 평지로 구분하여 Ikonos의 RPC를 적용한 수동매칭과 자동매칭 결과의 정확도를 비교하였으며, JERS-1의 InSAR에 의한 DEM과 Ikonos의 RPC의 수동매칭한 결과를 비교 분석하였다. InSAR에 의해 생성된 DEM은 GCP의 선점에 좌우되므로, 표고에 대한 RMSE가 최소값에 근사한 결과를 제공해 주는 GCP No.15 (RMSE = 10.70m)와 최대 RMSE가 발생하는 GCP No.40번 (RMSE = 54.77m)을 선택한 경우를 기준으로 하여 정확도를 평가하였다. 그 결과는 그림 12에 표시되어 있으며, 각 지역별 영상에서 번호는 정확도 평가를 위한 검사점을 나타낸다.



(가) 도심지

(나) 산림지

(다) 평지

그림 11. 지형에 따른 정확도 분석을 위한 지역분류 및 검사점 분포

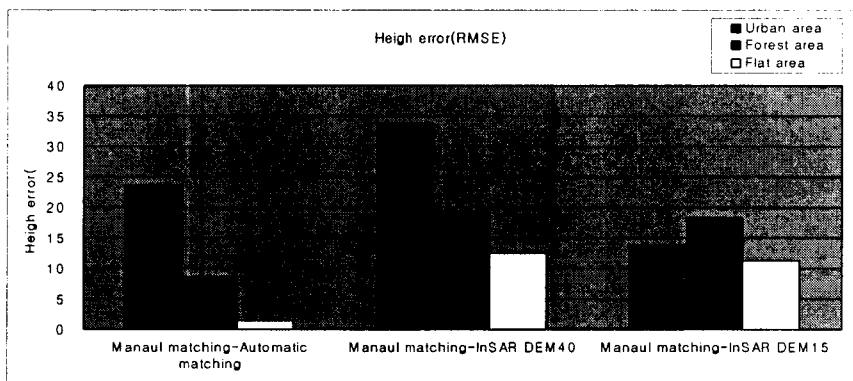


그림 12. Ikonos와 JERS-1 영상에 의한 지역별 표고 RMSE

## 4. 결 론

Ikonos 영상의 정확도는 지상기준점에서 RMSE는 위도방향으로 7.18m, 경도방향으로 3.49m로 평균 RMSE는 13.7m 이었으며, 정밀 GCP에 의한 편의를 보정하여 표고 RMSE는 1.02m로 향상 시킬 수 있었다. 도심지와 산림지에서는 자동매칭에 의한 정밀 3차원 좌표추출은 한계가 있다. InSAR의 경우는 GCP의 선점에 따라 DEM의 정확도가 좌우되며, 표고에 대한 지역별 최적 GCP선점의 경우, RMSE는 도심지에서 13.8m, 산림지에서 18.3m, 평지에서 10.9m로 평가되었다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실 사업(과제번호: M10302000063-03J0000-032)의 지원으로 수행되었으며, Ikonos 영상은 *e-HD.com* 으로부터 제공받았다, 이에 깊은 감사를 드린다.

## 참고문헌

- 김상완, 이창욱, 원중선, (2002), JERS-1 L-band SAR Interferometry를 이용한 연안매립지 지반침하관측, *자원환경지질*, 제35권, 제5호, pp. 465-478.
- 김태정, 임용조, (2002), SPOT, EOC, IKONOS 스테레오 영상으로부터 생성된 도심지역 DEM의 정확도 및 성능 비교분석, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 18, No. 4, pp. 221-231.
- 박준규, 2003, *RPC/GCP를 이용한 IKONOS 위성영상의 3차원 지형정보 해석*, 충남대학교 대학원 토목공학과, 석사학위논문.
- Di, K., Ma, R., and Li, R., (2003), Rational Functions and Potential for Rigorous Sensor Model Recovery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 69, No. 1, pp. 33-41.
- Fraser, C., (2001), High-Accuracy Geopositioning with IKONOS Imagery, *3rd International Image Sensing Seminar on New Developments in Digital Photogrammetry*, [http://www.chikatsu-lab.g.dendai.ac.jp/wgv4/presentation/09\\_02Fraser.pdf](http://www.chikatsu-lab.g.dendai.ac.jp/wgv4/presentation/09_02Fraser.pdf).
- Iwamoto, M., Fujisaka, T., Satoh, C., Kawabata, K., and Hara, Y., (1997), Evaluation of Elevation Derived from Interferometric SAR Data with DEM, *IEEE*, pp. 966-968.
- Li, R., Zhou, G., Yang, S., Tuell, G., Schmidt, N. J., and Fowler, C., (2000), A Study of The Potential Attainable Geometric Accuracy of IKONOS Satellite Imagery, *ASPRS*, CD-ROM.
- Seymour, M., and Cumming, I., (1998), Improving DEMs using SAR Interferometry, *IEEE*, pp. 2662-2664.
- Tao, C. V., and Hu, Y., (2002), 3-D Reconstruction Methods Based on the Rational Function Model, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 68, No. 7, pp. 705-714.
- Zebker, H. A., Werner, C. L., Rosen, P. A., and Hensley, S., (1994), Accuracy of Topographic Maps Derived from ERS-1 Interferometric Radar, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 32, No. 4, pp. 823-835.