

Radargrammetry를 이용한 C-밴드 및 X-밴드 SAR 위성영상의 DEM 생성 평가

Assessment of DEM Generated by Stereo C-band and X-band SAR images using Radargrammetry

송영선* · 김기홍**

Song, Yeong Sun · Kim, Gi Hong

요 旨

SAR(Synthetic Aperture Radar) 영상으로부터 3차원 정보를 추출하는 방법에는 InSAR기법과 radargrammetry기법이 있다. 지금까지는 정밀한 DEM의 생성을 위해서 InSAR가 주로 사용되어 왔으나 InSAR는 지형의 기복이 심하거나 혹은 식생지역에서도 두 영상사이에 높은 상관도를 요구한다. 이에 비해 radargrammetry는 InSAR에 비해서 두 영상의 상관도에 덜 민감하기 때문에 경우에 따라서 DEM을 생성하는데 더 효과적일 수 있다. 특히 두 영상의 상관도를 유지하기가 어려운 X-밴드 SAR 위성영상의 경우는 DEM의 생성에 radargrammetry가 더 유용할 수 있다. 본 연구에서는 C-밴드 위성인 RADARSAT-1의 입체위성영상과 X-밴드인 TerraSAR-X 입체위성영상에 radargrammetry기법을 적용하여 DEM을 생성하고, 그 특성을 분석하였다.

핵심용어 : Radargrammetry, X-밴드, C-밴드, SAR, DEM

Abstract

To extract the 3D geometric information from SAR(Synthetic Aperture Radar) images, two different techniques, interferometric SAR and radargrammetry, have been widely used. InSAR is most widely used for the generation of precise DEM(Digital Elevation Model) until now. But, Interferometric SAR requires severe temporal correlation over areas covered with vegetation and high relief areas. Because radargrammetry is less sensible to temporal correlation, it can provide better results than interferometric SAR in certain, especially X-band SAR. In this paper, we assess the properties of DEMs generated by radargrammetry using stereo C-band RADARSAT-1 images and X-band TerraSAR-X images.

Keywords : Radargrammetry, X-band, C-band, SAR, DEM

1. 서 론

SAR 영상을 활용한 위치결정의 방법에는 크게 InSAR(interferometric SAR)기법과 radargrammetry 기법으로 구분할 수 있다. SAR(Synthetic Aperture Radar)는 L-밴드, C-밴드, X-밴드 등과 같이 다양한 파장대의 신호를 이용하여 지표면의 특성을 영상화 할 수 있으며, 지금까지 대부분 L-밴드를 이용한 InSAR기법으로 지표면의 정밀변위관측에 주로 SAR 영상이 이용되어 왔다. L-밴드는 타 파장대에 비해 높은 코히런스

(coherence)가 유지되기 때문에 InSAR의 적용에는 유용하지만 상대적으로 공간해상도가 떨어지는 단점이 있다. 이러한 단점은 광학영상에 비해 영상의 판독, 영상분류 등과 같은 시각적인 분석에 의존하는 활용분야에서의 적용을 제한시키는 측면이 있었다. 특히 홍수 등과 같은 시간간격이 짧은 사건의 분석에서 높은 코히런스를 가지는 영상들을 기반으로 신호처리과정을 거쳐 결과를 도출하는 InSAR기법은 한계를 지닌다고 볼 수 있다. 물론 이러한 한계를 극복하기 위한 기법의 개발이 이루어지고 있다. 취득된 영상의 낮은 공간해상도

2013년 11월 6일 접수, 2013년 12월 10일 수정, 2013년 12월 13일 채택

* 정회원 · 인하공업전문대학 항공지리정보과 조교수(Member, Dept. of Aerial Geoinformatics, Inha Technical College, point196@inhac.ac.kr)

** 교신저자 · 정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 부교수(Corresponding author, Member, Dept. of Civil Engineering, Kangneung-Wonju National University, ghkim@kwnu.ac.kr)

는 영상의 장점인 시각적인 분석에 있어 한계를 나타내며, 따라서 최근에는 짧은 파장대의 X-밴드를 이용하여 공간해상도를 향상시킴으로서 사진측량학적 관점에서 영상을 해석하고자 하는 시도가 증가하고 있다(Notti et al., 2010; Lau, 2011).

본 연구의 주제인 DEM(Digital Elevation Model)은 다양한 분야에서 매우 중요한 자료원으로 사용되고 있으며, 위성을 통한 DEM의 생성은 적은 비용으로 신속하게 제작할 수 있다는 장점 때문에 널리 사용되어 왔다. 특히 DEM의 생성에 있어서 SAR 영상의 활용은 광학영상으로 취득이 불가능한 상황에서 영상을 취득할 수 있다는 장점 때문에 지속적인 연구가 필요한 분야이기도 하다. SAR 영상으로부터 DEM을 생성할 수 있는 방법은 InSAR와 radargrammetry가 있으며, 몇 년 전까지만 해도 낮은 해상도의 amplitude 자료가 제공됨으로 인해 InSAR기법이 주로 사용되어 왔다. 그러나 InSAR를 적용하기 위해서는 두 입체영상 간에 높은 코히어런스가 필요하기 때문에 우리나라와 같이 지형의 기복이 심하고 사계절이 뚜렷한 지역에 적용하기에는 여러 가지 문제점이 존재하였다.

1950년대 radargrammetry에 대한 개념이 처음으로 언급된 이후로 X-밴드를 사용하는 COSMO-SkyMed, TerraSAR-X, RADARSAT-2, KOMPSAT-5 등과 같은 위성이 SpotLight/Ultrafine 모드 등에서 1m급 공간 해상도의 영상을 취득하게 되었고, 이에 따라 radargrammetry의 중요성이 점점 더 증가하고 있다. Merice et al.(2009), Toutin and Gray(2000)은 저해상도 위성영상인 RADARSAT-1, ERS-1/2 영상을 대상으로 radargrammetry 연구를 수행하였고, 고해상도 위성에는 Raggam et al.(2010)이 TerraSAR-X 위성영상에, Perko et al.(2011)이 COSMO-SkyMed 영상에 적용하였으며, 그 외에도 radargrammetry에 대한 많은 연구가 진행되었다(Gonzales de Oliviera and Paradella 2008; Pradhan and Buchroithner, 2009; Renga and Moccia, 2009; Toutin, 2010). 국내에서는 X-밴드 SAR 위성인 KOMPSAT-5를 2013년에 성공적으로 발사하였고, 2014년부터 민간에 배포하여 활용할 계획이다. 이에 Bang et al.(2012)은 TerraSAR-X위성에 대해서 RFM(Rational Function Model)기반의 3차원 정보추출에 대해서 연구를 수행하였고, Lee and Jang (2008)이 우리나라 위성인 KOMPSAT-5의 예상궤도와 영상모드를 분석하여 radargrammetry를 위한 최적의 영상조합을 제시하는 등 radargrammetry에 관한 연구를 시작하고 있다.

위에서 언급했듯이 지금까지 radargrammetry에 대한

연구는 대부분이 알고리즘의 정립 및 개선을 통한 정확도의 평가 등에 대한 내용이었으며, 이와 달리 본 연구는 영상 취득 시 사용된 밴드에 따라 생성되는 DEM의 특성에 대한 분석을 목적으로 하였다. 이에 본 연구에서는 기존에 발표된 다양한 논문들에 기초하여 효과적인 radargrammetry를 위한 기하구조들에 대해서 조사하고, 이를 기반으로 C-밴드 위성인 RADARSAT-1 위성영상과 X-밴드 위성인 TerraSAR-X 위성을 활용하여 radargrammetry기법으로 DEM을 생성하였다. 생성된 DEM의 상태를 평가하기 위하여 위성영상으로부터 생성된 DEM의 단면, 부피, 표면적 등을 계산하고, 수치지도로부터 제작한 DEM과 비교·분석하였다. 연구대상 위성영상으로 KOMPSAT-5는 아직 배포전이기 때문에 KOMPSAT-5와 동일한 밴드를 사용하는 TerraSAR-X 위성영상을 X-band 위성영상으로 활용하였다.

2. Radargrammetry 이론 및 기하구조분석

SAR 영상의 radargrammetry는 광학영상의 photogrammetry와 유사한 개념으로서 Leberl(1990)은 레이더 영상으로부터 기하학적 정보(geometric information)를 추출하는 기법이라고 정의하였다. InSAR가 phase 정보를 이용하는 반면에 radargrammetry는 amplitude 자료만을 이용하여 영상정합 및 전방교회법을 거쳐 3차원 좌표를 생성한다. Radargrammetry를 위한 좋은 입체영상의 기하구조는 지표면의 높이를 계산할 수 있을 만큼 시차(parallax)를 충분히 확보할 수 있어야 하는데 이는 두 영상사이의 교차각(convergence angle, Fig. 1에서 $\Delta\theta_v$)이 커야 한다는 것을 의미하고, 반대로 영상정합을 위해서 동일점이 두 영상에서 동일하게 보일 정도로 교차각이 작아야 한다는 것을 의미한다. 이는 영상정합과 관련된 문제로서 SAR 영상에서 영상정합의 결과에 영향을 미치는 요인은 레이오버(layvoer), 그림자효과(shadow effect), 전방압축(foreshortening) 효과 등이며, 이러한 왜곡은 영상의 해상도와 대상지역의 지형기복과 같은 지형형상에 의해 영향을 받는다. 이러한 문제로 인해 지형의 기복이 심한 지역에서는 영상정합때문에 radargrammetry를 적용하기가 어려우며, d'Ozouville et al.(2008)은 지형의 기복이 어느 정도 있거나 심한 지역에서는 두 영상사이의 취득 교차각이 $10^\circ \sim 20^\circ$ 가 radargrammetry에 적당하다고 발표하였다. 고도민감도는 평균입사각(incidence angle)이 증가할수록 감소하고, 입사각의 차이가 클수록 증가한다. 따라서 평균입사각이 작고 입사각의 차이가 큰 입체영상은 DEM의 정확도를 높이는데 우선시 된다. 그러나 실제

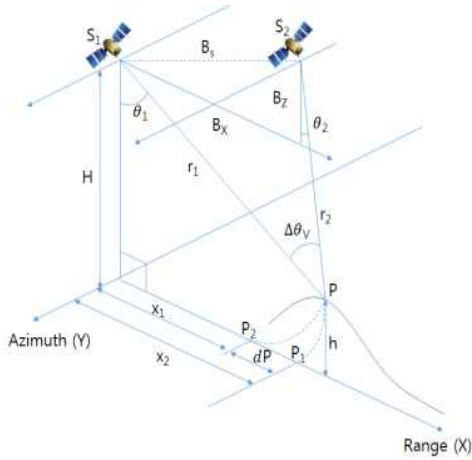


Figure 1. Geometry of radargrammetry

로는 전방압축효과, 레이오버, 그림자효과와 같은 SAR 영상의 지형왜곡에 의한 한계가 존재하기 때문에 일반적으로 산악지형에서 고도 민감도의 범위는 1이하에서 선택한다(Lee and Jang, 2008).

SAR 영상으로부터 DEM의 상태에 영향을 미치는 또 다른 조건으로서 입체쌍의 영상취득이 동일방향(same-side)에서 이루어졌느냐 혹은 반대방향(opposite-side) 방향에서 이루어졌느냐가 있으며, 시차와 영상정합의 개념에서 바라보면 평탄한 지역의 경우는 반대방향취득이 DEM 생성에 효과적이고, 지형의 기복이 심한 지역의 경우는 동일방향취득이 더 좋다는 것을 알 수 있다. 또한 정밀한 3차원 위치결정을 위한 기선 고도비의 범위는 0.25에서 2까지가 적절하며, 영상정합의 효과적으로 수행하기 위해서는 동일방향취득기하가 좋다 (Meriç et al., 2009).

Fig. 1에서 S1, S2는 P점 취득시의 위성위치, Bx, Bz는 수평 및 수직 기선(baseline), r1, r2는 S1과 S2위성에 탑재된 각각의 센서로부터 지상객체 점 P까지의 거리이다. 식(1)은 시차를 계산하는 식으로서 dP는 P1과 P2의 시차(disparity distance)이며, 만약에 표고값이 0이라면 시차도 0이 되고, 표고값이 커지면 시차도 커지게 된다.

$$dP = \frac{\sqrt{x_g^2 + (H-h)^2 - H^2}}{\sqrt{(x-B_x)^2 + (H+B_z-h)^2 - (H+B_z)^2} - B_x} \quad (1)$$

위의 식(1)에서 시차 dP는 표고가 h일 때 x에 영향을 받으며, 두 개의 위성궤도가 같은 고도 H라고 한다면(Bz=0, Bx=Bs), h는 다음 식(2)와 같이 정리할 수 있다.

$$h = \frac{2HB_s + 2HdP - \sqrt{4H^2B_s^2 + dP\Delta}}{dP + B_s} \quad (2)$$

여기서, Δ는 $8B_s(H^2 - x^2 + xB_s) + dP(4B_s^2 + dP^2 + 4dPB_s) + 4dP(H^2 - x + xB_s)$ 이다. H가 h와 P에 비해서 그 값이 매우 크기 때문에 지상거리상에서의 표고값은 식(3), 경사거리에서는 식(4)와 같이 단순한 식으로 요약할 수 있다(Lic, 2012). 여기서 θ_1, θ_2 는 표고값의 변화에 따른 입사각을 의미한다.

$$h = \frac{dP}{\cot\theta_1 \pm \cot\theta_2} \quad (3)$$

$$h = \frac{dP}{\cos\theta_1 \pm \cos\theta_2} \quad (4)$$

(반대방향 취득 : +, 동일방향 취득: -)

2장에서 언급한 것과 마찬가지로 Stereoscopic에서 핵심인자는 disparity distance와 교차각이며, 기선 또한 생성하는 DEM의 정확도에 큰 영향을 미친다고 할 수 있다. 주 영상(master image)상에서 각각 영상정합이 된 영상소들, 다시 말해서 시차맵(disparity map)은 r1, r2의 정보를 가지며, 아래의 식(5), (6)을 풀면 구하고자 하는 점의 좌표(x, y, z)을 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} (x - X_1) + (y - Y_1)^2 + (z - Z_1) &= r_1^2 \\ (x - X_1)\dot{X}_1 + (y - Y_1)\dot{Y}_1 + (z - Z_1)\dot{Z}_1 &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} (x - X_2) + (y - Y_2)^2 + (z - Z_2) &= r_2^2 \\ (x - X_2)\dot{X}_2 + (y - Y_2)\dot{Y}_2 + (z - Z_2)\dot{Z}_2 &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

여기서, $(X_1, Y_1, Z_1), (X_2, Y_2, Z_2)$ 는 위성의 위치, $(\dot{X}_1, \dot{Y}_1, \dot{Z}_1), (\dot{X}_2, \dot{Y}_2, \dot{Z}_2)$ 는 위성의 속도를 의미한다. 모든 영상소에 대해서 위의 식을 풀면 초기 DEM을 생성할 수 있고, 생성된 초기 DEM을 재배열하면 최종 DEM이 생성된다.

3. 자료처리 과정

Radargrammetry로부터 3차원 좌표를 추출하는 기본 이론은 동일하지만 영상정합의 방법, 스펙클노이즈의 제거를 위한 필터의 종류, 대상지역의 기복변위의 정도,

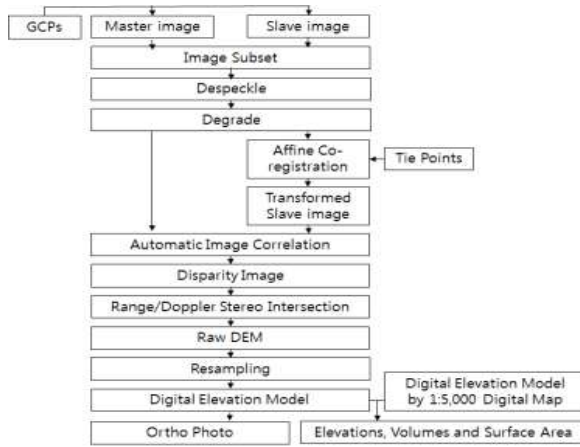


Figure 2. Flowchart of study

사용되는 입체영상의 교차각과 입사각 등 입체영상의 배치와 중간과정에서 어떤 기법을 적용하느냐 따라서 생성되는 DEM의 결과는 달라진다. 본 연구에서는 C-밴드 SAR 영상과 X-밴드 SAR 영상에 각각 동일한 처리과정을 적용하여 DEM을 생성하였고, 중간과정에서 필요한 매개변수의 값은 기존에 발표된 논문이나 보고서 등을 참고로 하여 결정하였으며 구체적인 값들은 4 장 자료처리 및 평가에서 제시하였다.

최종적으로 각각의 서로 다른 파장대의 입체 SAR 영상으로부터 추출된 DEM을 수치지도로부터 생성된 DEM과 비교하여 표고값, 체적, 표면적을 평가하였다. 또한 생성된 DEM을 이용하여 SAR영상의 정사영상을 생성하고, 각각 생성된 정사영상의 품질을 시각적으로 평가하였다. SAR 영상으로부터 DEM을 생성하는 과정과 평가방법은 Fig. 2와 같다.

4. 자료처리 및 평가

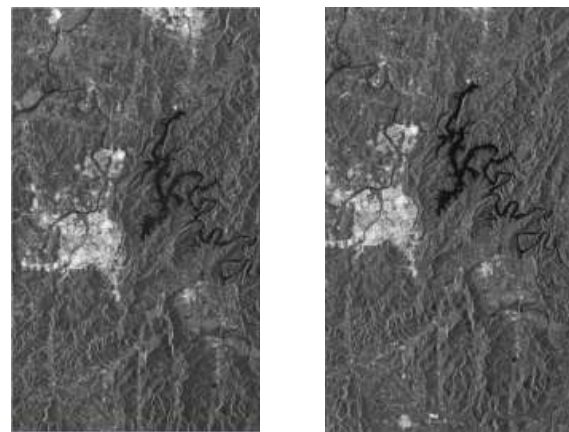
DEM 생성을 위한 대상지역은 전체영상에서 대전을 중심으로 하여 그 주변 산악지역으로 하였다. 사용된 SAR 위성영상은 C-밴드 RADARSAT-1 입체영상과 X-밴드 TerraSAR-X 입체영상으로 세부적인 특성은 Table 1과 같다. 위에서 언급했듯이 최적의 radargrammetry를 위한 기하학적 조건은 교차각이 10°에서 20°, 산악지형에서 고도민감도는 1이하로서, 본 연구에서 사용한 입체영상들의 교차각은 각각 TerraSAR-X가 15.719°, RADARSAT-1이 21.048°로 radargrammetry를 적용하기에 적절하다고 할 수 있다. RADARSAT-1 SGF 포맷은 amplitude 자료만을 제공하지만, TerraSAR-X SSC(Single Look Slant Range Complex) 포맷은 두 개의 레이어에 amplitude와 phase정보를 각각 제공한다.

Table 1. Characteristics of satellite images for study

	TerraSAR-X		RADARSAT-1	
	Master	Slave	Master	Slave
Acquisition mode	Stripmap	Stripmap	Standard	Standard
Processing	SSC	SSC	SGF	SGF
Local incidence angle(deg)	28.747	44.466	23.085	44.133
Look side (deg)	90 (Right)	90 (Right)	90 (Right)	90 (Right)
Target height(m)	200.31	213.96	0	0
Orbit direction	Ascendin g	Ascendin g	Ascendin g	Ascendin g
Acquisition Date	08.11.20	08.11.14	98.08.16	98.08.12

Table 1에서 보는 바와 같이 본 연구에서 사용된 입체 위성영상은 취득방향(look side) 및 궤도방향(orbit direction)이 모두 오른쪽(right), 상승(ascending) 모드로서 산악지역의 DEM생성에 적합한 동일방향 취득영상임을 알 수 있다.

Fig. 3은 본 연구에서 사용된 RADARSAT-1과 TerraSAR-X의 입체영상이며, 입체영상 중에서 주영상(reference image)은 입사각이 작은 영상이고 부영상(slave image)은 입사각이 큰 영상이 된다. 자료처리를 위해서 좌표계는 GRS80 타원체, TM투영(가상원점의 좌표 50만, 20만, 중부원점 기준), Korea 2,000 Datum을 사용하였다. 기준점 취득을 위해서 1:5000 수치지도를 이용하였고, 취득된 기준점을 이용하여 위성의 궤도를 보정하였다.



(a) Reference image (b) Slave image

Figure 3. Stereo TerraSAR-X Satellite images for radargrammetry

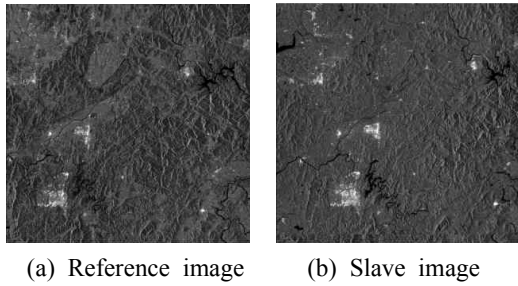


Figure 4. Stereo RADARSAT-1 Satellite Images for radargrammetry

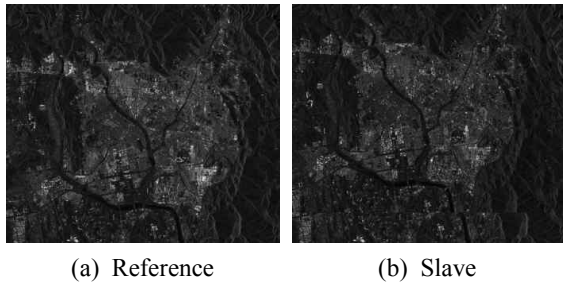


Figure 5. TerraSAR-X subset image

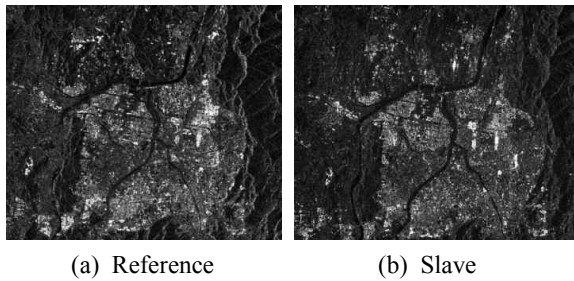


Figure 6. RADARSAT-1 subset image

DEM 생성을 위한 대상영역은 전체 위성영상중에서 대전 시내를 중심으로 하여 상하좌우로 산악지역을 포함하도록 추출하였다(Fig. 5, Fig. 6).

영상정합의 결과를 향상시키기 위해서는 적절한 필터를 적용하여 스펙클을 제거해야 하며, 본 연구에서는 스펙클제거를 위해서 일반적으로 많이 활용되고 있는 3×3 윈도우 크기의 Gamma-Map 필터를 사용하였고, 이 때 Variation의 매개변수 값은 0.2, Variation of Multiplier는 1.0을 적용하였다. 사용된 RADARSAT-1 영상은 지상거리(ground range)영상으로서 경사거리방향(slant range direction)으로의 영상소 간격(pixel spacing)이 12.500m, 위성진행방향으로는 12.516m로서 두 간격을 동일하게 1:1스케일로 조정하였고, TerraSAR-X 영상은 경사거리(slant range)영상으로서 경사거리방향으로의 영상소 간격이 0.909m, 위성진행방향(azimuth direction)으로는 영상소 간격이 1.899m으로서

RADARSAT-1 위성영상과 마찬가지로 두 간격을 동일하게 1:1스케일로 조정하였다. 두 입체영상간의 상호 등락은 부등각사상변환식을 사용하였으며, 접합점은 평탄지역과 산악지역에서 모두 취득하였다. 상호등락 과정에서 발생하는 경사거리방향의 변위량과 위성진행 방향의 변위량은 영상정합의 과정에서 탐색범위를 결정하는데 활용되며, 산악지역일수록 이 값이 증가하고 또한 오류가 증가할 확률도 높아진다. 본 연구에서 사용된 영상의 경우 TerraSAR-X는 경사거리방향으로 약 42영상소 RADARSAT-1은 약 4영상소로 계산되었다. 이 값은 부등각사상변환을 위한 기준점의 선택문제로서 동일지역 및 동일입사각에서는 TerraSAR-X영상이 해상도로 인해 큰 값을 가진다. 그 외에도 C-밴드 위성의 경우 해상도가 낮기 때문에 기복에 의한 경사거리방향 시차의 영상소수가 X-밴드 SAR 위성보다 작아 영상정합 시 탐색범위를 좁힐 수 있고 이로 인해 X-밴드 SAR 위성보다 더 나은 영상정합의 결과를 보인다. 따라서 C-밴드 영상의 경우는 평탄한 지역과 지형의 기복이 심한 지역을 한 번에 처리할 수 있는 반면에, X-밴드 영상의 경우는 평탄한 지역과 산악지역을 구분하여 처리해야 영상정합을 이룰 수 있다.

영상정합을 위해서 피라미드 상관관계정합을 사용하였고, 6단계의 피라미드 영상을 생성하여 영상정합을 수행하였다. 본 연구에서는 같은 조건에서 C-밴드 위성영상과 X-밴드 위성영상의 radargrammetry 평가를 목적으로 하였으므로 각 단계별 영상정합에 사용된 매개변수를 TerraSAR-X와 RADARSAT-1 영상에 모두 동일하게 적용하였다(Table 2). 영상정합의 성공률을 높이기 위해서는 영상의 종류, 대상지역의 기복정도에 따라서 반복수행을 통해 경험적으로 최적의 매개변수 값을 결정하여 적용해야 하며, radargrammetry에서 영상정합의 성공률을 높이기 위한 매개변수값의 결정은 또 하나의 중요한 부분으로 볼 수 있다. Table 2에서 SizeX, SizeY는 탐색창의 크기, Search-X, Search-Y, Search+X, Search+Y는 탐색범위, Step X StepY는 탐색간격, 그리고 threshold는 정합 성공여부를 판단하는 임계값을 의미한다.

Fig. 7은 Table 2의 매개변수 값을 이용하여 피라미드 기반 영역기반영상정합 수행결과를 보여주는 것으로 색상이 밝을수록 영상정합의 상관관계수가 높은 것을 의미한다. Fig. 7에서 볼 때 두 영상 모두 도심지의 경우는 비교적 영상정합의 결과가 우수하나 우측상단의 지형의 기복이 심한 산악지역에서는 영상정합의 결과가 좋지 못한 것을 알 수 있다. 이것은 Table 2에서 사용한 매개변수 값이 주거지역(high density area)이던

Table 2. Parameters for image matching(unit : pixels)

Level	SizeX	SizeY	Search-X	Search+X	Search-Y	Search+Y	Step X	Step Y	threshold
1	20	20	2	2	1	1	4	4	0.2
2	60	60	3	3	1	1	8	8	0.2
3	90	90	6	6	2	2	20	20	0.3
4	120	120	12	12	2	2	50	50	0.3
5	180	180	15	15	2	2	65	65	0.4
6	220	220	24	24	2	2	80	80	0.4

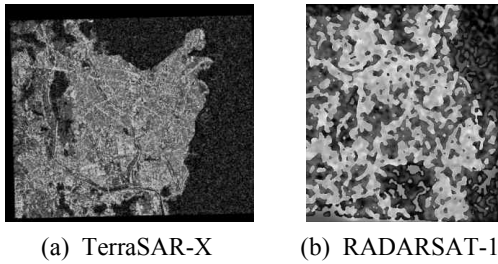


Figure 7. Correlation image

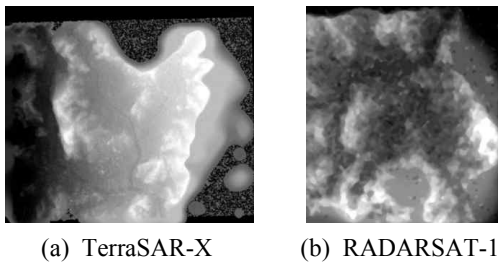


Figure 8. Disparity Map

서 시차가 크지 않은 지역(low parallax area)에 적합하게 설계되었기 때문에 판단된다. Fig. 8은 시차맵으로 경사거리방향의 시차를 의미하며 영상의 밝기값이 클수록 지형의 기복이 심한 지역을 의미한다.

Fig. 9는 Fig. 8의 시차맵을 이용하여 각 영상소의 높이값을 결정한 후 영상재배열 및 좌표계 보정을 수행하여 생성한 DEM으로서 해상도는 모두 1m, 좌표계는 GRS80타원체, TM 투영(가상원점 50만, 20만, 중부원점 기준), Korea 2000 Datum이다. Fig. 9에서 보듯이 TerraSAR-X의 경우는 지형의 기복이 심한 우측상단과 하단부분에서 영상정합이 이루어지지 않아 표고값의 결정이 이루어지지 않은 반면에 RADARSAT-1의 경우는 전체영역에서 대부분 지표면의 높이값 결정이 이루어졌음을 알 수 있다.

각각의 위성으로부터 생성된 DEM의 상태를 판단하기 위해서 기준 DEM은 1:5000 수치지도로부터 높이값을 가지는 포인트 자료와 폴리라인 자료만을 이용하여 불규칙삼각망(TIN)을 구성하고, 구성된 불규칙삼각망을 격자형태로 변환하여 제작하였다(Fig. 10(a)). 각

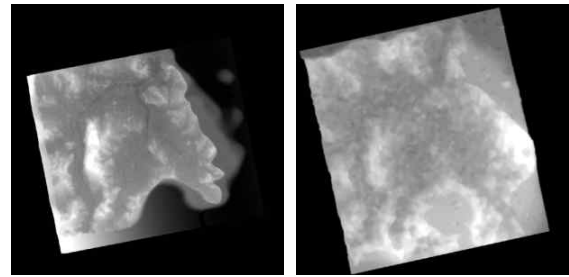


Figure 9. DEMs generated by radargrammetry

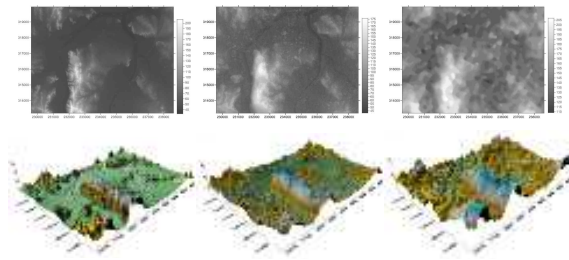
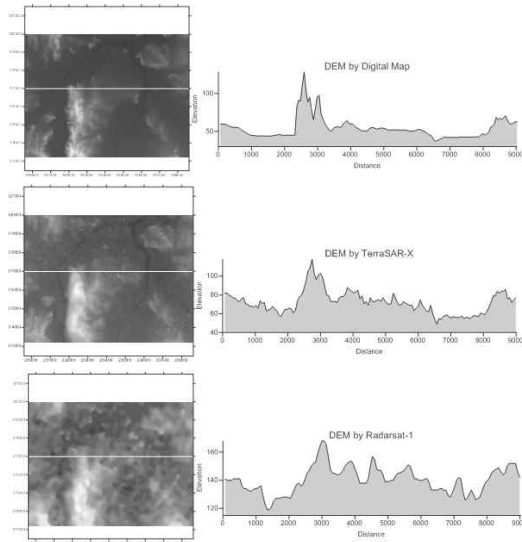


Figure 10. Digital Elevation Model

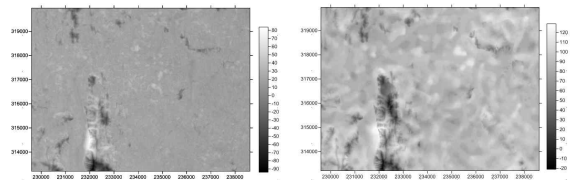
각 생성된 DEM은 중복영역에 대해서 9014×6747 크기의 격자형태로 추출하여 비교평가를 수행하였다. 그 결과 수치지도로부터 생성된 DEM의 최대값은 207m, 최소값은 32m, 평균값은 57m, TerraSAR-X의 DEM은 최대값 176m, 최소값 42m, 평균값 75m, RADARSAT-1의 DEM은 최대값 207m, 최소값 109m, 평균값 143m로 각각 나타났다. Fig. 10의 하단 그림은 해당 DEM의 3차원 모형으로서 표고값을 과장하여 표현한 그림이다. 생성된 DEM의 최저 표고값을 기준면으로 심프슨 법칙을 적용하여 체적 및 표면적을 계산할 결과는 Table 3과 같다. Table 3에서 보듯이 위성으로부터 생성된 DEM이 기준 DEM 보다 체적 및 표면적 모두 크게 나타났다. 이는 Fig. 10에서 보듯이 수치지도로부터 생성된 DEM은 인공지형지물의 높이값이 생략되어 있는 반면에 SAR 영상으로부터 생성된 DEM은 인공지형지물에 대한 높이값이 포함되어 있으므로 이로 인해 체적 및 표면적의 값이 커지는 것으로 분석되었다.

Table 3. Volumes and Surface Areas of DEMs

	Total Volume(m ³)	Surface Area(m ²)
DEM of Digital Map	1,517,062,800	60,801,698
DEM of TerraSAR-X	2,007,520,353	64,932,995
DEM of RADARSAT-1	2,077,955,966	62,935,821



(a) Profile of DEMs



(b) DEM Difference(Left:TerraSAR-X, Right:RADARSAT-1)

Figure 11. Analysis of DEMs

DEM의 특성을 비교하기 위해서 표고값의 변화가 심한 임의지역을 선택하여 단면의 변화를 살펴본 결과는 Fig. 11(a)와 같으며, 위성으로부터 생성된 DEM이 기준 DEM보다 표고값의 변화가 심하게 나타났고, RADARSAT-1 위성영상의 DEM은 평활화 현상을 보였다. Fig. 11(b)는 위성영상으로부터 생성된 DEM으로부터 수치지도로부터 생성된 DEM을 뺀 것으로서 밝은 지역이 오차가 큰 지역을 의미하며, 두 DEM 모두 오차의 분포는 비슷한 양상을 보였다.

5. 결론

2013년 우리나라 최초의 X-밴드 SAR 위성인 KOMPSAT-5가 발사되었고, 2014년부터 민간에 배포

되어 활용될 계획이다. 그러나 X-밴드 SAR 위성은 우리나라와 같이 사계절이 명확하고 구분되고, 지형의 변화가 심한 지역에서는 L-밴드에 비해서 높은 코히런스를 유지하기 힘들기 때문에 InSAR기법보다는 상대적으로 코히런스에 영향을 덜 받는 radargrammetry기법이 오히려 DEM의 생성에는 더 효과적일 수 있다.

이에 본 연구에서는 X-밴드 SAR 위성의 radargrammetry 활용 가능성 평가를 목적으로 하였다. 이를 위해서 C-밴드 SAR 위성인 RADARSAT-1과 X-밴드 SAR 위성인 TerraSAR-X에 대해서 radargrammetry기법을 적용하여 DEM을 생성하고, 생성된 DEM을 수치지도로부터 생성과 기준 DEM과 비교하여 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, radargrammetry기법을 적용하여 DEM을 생성하고 기준 DEM과 체적, 표면적, 표고값을 비교해 본 결과 C-밴드 및 X-밴드 위성으로부터 생성된 DEM은 표면적 및 체적 모두 기준 DEM보다 모두 높게 산출되었으며, 표고값의 분포 또한 DEM 단면을 서로 비교한 결과 상대적으로 높은 값을 보였다. 이는 수치지도로부터 생성된 기준 DEM은 건물 등과 같은 인공지형지물의 높이값이 생략되어 있는 반면에 위성영상으로부터 생성된 DEM은 모든 지형지물의 높이값이 반영됨으로 인한 나타나는 현상으로 분석되었다.

둘째, 영역기준영상정합을 활용할 경우 C-밴드 RADARSAT-1 SAR 위성영상은 영상정합의 과정에서 도심지역과 산악지역이 같이 분포하더라도 영상정합에 큰 문제가 발생하지 않았으나, X-밴드 TerraSAR-X 위성영상의 경우는 도심지역과 산악지역을 동시에 처리할 경우 영상정합에서 문제가 발생하였다. 따라서 TerraSAR-X 위성영상의 경우 표고값의 변화정도에 따라 대상지역을 적절히 분할하여 자료처리를 수행하거나 위성영상의 취득기하, 대상지역의 상태에 적합한 영상정합 매개변수를 적용해야 함을 알 수 있었으며, 추가적으로 적절한 매개변수값 결정을 위한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

셋째, 우리나라와 같은 지형분포에 있어서 X-밴드 SAR 위성에 radargrammetry를 효과적으로 적용하기 위해서는 다양한 SAR 위성영상을 기반으로 보다 많은 기하구조를 가지는 입체영상에 대해서 평가가 이루어져야 할 것으로 판단되며, 추가적으로 InSAR기법에 의한 DEM과의 비교평가도 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2013년 정부(미래창조과학부)의 재원으로

한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 (2012R1A1A1013894)이며, 이에 감사드립니다. 또한 실험데이터를 제공해 주신 석곡관측과학기술연구원에 감사드립니다.

References

1. ang, S. N., Koh, J. W., Yun, K. H. and Kwak, J.H., 2012, A Study on RFM based radargrammetry using TerraSAR-X datasets, *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 32, No.1D, pp. 88-94.
2. d'Ozouville, N., Deffontaines, B., Benveniste, J., Wegmuller, U., Violette, S., and Marsily, G., 2008, DEM generation using ASAR (ENVISAT) for addressing the lack of freshwater ecosystems management, Santa Cruz Island, Galapagos. *emote Sensing of Environment*, Vol. 112, No.11, pp. 4131-4147.
3. Gonzales de Oliveira, C. and Paradella, W. R., 2008, An assessment of the altimetric information derived from spaceborne SAR (RADARSAT-1, SRTM3) and optical (ASTER) data for cartographic application in the Amazon region, *Sensors*, vol. 8, no. 6, pp. 3819-3829
4. Lee, H. Y. and Jang, S. Y., 2008, Analysis of KOMPSAT-5 Orbit for radargrammetry, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, No.4, pp. 351-358.
5. Leberl, F., 1990, *Radargrammetric image processing*, Artech House, Norwood, MA.
6. Méeric S., Fayard F., Pottier E., 2009, Radar-grammetric SAR image processing. In: *Geoscience and Remote Sensing*, Pei-Gee Peter Ho (Ed.) InTech.
7. Notti, D., Davalillo, J. C., Herrera, G. and Mora, O., 2010, Assessment of the performance of X-band satellite radar data for landslide mapping and monitoring: Upper Tena Valley case study, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, pp. 1865-1875
8. Perko R., Raggam H., Deutscher J., Gutjahr K. and Schardt M., 2011, Forest assessment using high resolution SAR data in X-Band, *Remote Sens. Vol. 3*, pp. 792-815.
9. Pradhan, B., Bolch, T. and Buchroithner, M., 2009, Elevation modeling using radargrammetry: Case study from Malaysia, *Proc. AGILE*, pp. 1-11.
10. Raggam, H., Gutjahr, K., Perko, R. and Schardt, M., 2010, Assessment of the stereo-radargrammetric mapping potential of TerraSAR-X multibeam spotlight data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 48, No. 2, pp. 971-977.
11. Renga, A. and Moccia, A., 2009, Performance of stereo radargrammetric methods applied to spaceborne monostatic-bistatic synthetic aperture radar, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 47, no. 2, pp. 544-560.
12. Lau, S. W., 2011, Comparison and fusion of space borne L-, C- and X- band SAR images for damage identification in the 2008 Sichuan Earthquake, *TRITA-GIT EX 11-003*
13. Toutin T. and Gray L. 2000, state-of-the-art of elevation extraction from satellite SAR data. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 55, pp. 13-33.
14. Toutin, T., 2010, Impact of RADARSAT-2 SAR ultrafine-mode parameters on stereo-radargrammetric DEMs, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 48, no. 10, pp. 3816-3823.