

X-band SAR 위성영상의 3차원 위치결정 기법 평가 - 레이더 간섭기법, Radargrammetry, RPC를 중심으로

Evaluation of 3D-Positioning Method Using X-band SAR Satellite Images - Focused on InSAR, Radargrammetry and RPC

송영선* · 이정한** · 장인태***

Song, Yeong Sun · Lee, Jung Han · Jang, In Tae

요 旨

2013년 우리나라 최초의 X-band SAR 위성인 KOMPSAT-5가 발사되었고, KOMPSAT-5의 활용성 측면에서 X-band SAR 위성영상에 대한 연구가 필요한 상황이다. 본 연구에서는 X-band SAR 위성영상에 대해서 수치표고 모델을 생성할 수 있는 세 가지 기법(레이더 간섭기법, radargrammetry, RPC)을 적용하여 수치표고모델을 생성하고, 각 기법별 정확도 및 장단점을 평가하였다. 실험 위성영상으로 대전지역을 촬영한 4장의 stripmap mode TerraSAR-X 영상을 이용하였고, 정확도 평가를 위해서 IKONOS 입체영상으로부터 생성된 수치표고모델을 이용하였다. 평가결과, 레이더 간섭기법으로 제작한 수치표고모델이 가장 높은 정확도를 보였고, 지형의 기복이 심한 넓은 지역에 대하여 수치표고모델을 생성하고자 할 경우에는 RPC를 이용하는 것이 효과적인 기법임을 알 수 있었다.

핵심용어 : X-band SAR, 레이더간섭기법, Radargrammetry, RPC, 수치표고모델

Abstract

Korea's first X-band SAR satellite KOMPSAT-5 has been launched in 2013, so the research related to the X-band SAR satellite image is required to increase the utilization of KOMPSAT-5. In this study, we generated a DEM(Digital Elevation Model) using X-band SAR satellite images based on three methods which are InSAR, radargrammetry and RPC(Rational Polynomial Coefficients), and evaluated the performance of each methods. The four stripmap mode TerraSAR-X images taken in Daejeon were used to generate DEM, and accuracy was evaluated using DEM by IKONOS RPC. As results, DEM produced by the InSAR showed the highest accuracy. Also, we knew that RPC could be effective method if you want to create a large area DEM which contains the various elevation.

Keywords : X-band SAR, InSAR, Radargrammetry, RPC, DEM

1. 서 론

1950년에 Carl Wiley가 Doppler beam sharpening 이론을 발표한 후로 이 이론을 바탕으로 1970년대에 항공기 탑재형 SAR(Synthetic Aperture Radar)를 이용하여 SAR영상이 취득되기 시작하였고(Chan et al., 2013), 이 영상들은 민간분야 및 국방분야 등의 다양한 분야에 이용되기 시작하였다. 1978년 세계 최초로 SAR 위성을 미국에서 발사하여 우주에서 SAR 영상을

취득하는데 성공하였고, SAR 응용분야에 새로운 전기가 마련되었다.

SAR 영상은 광학영상과는 다른 특성 때문에 광학영상으로는 활용이 어려운 농업분야, 해양분야, 환경오염 분야, 지표면의 변화탐지, 국방분야, 자연재해분야 등에서 활용되고 있다. 위성탑재형 SAR는 1978년 SEASAT을 시작으로 SIR-A, SIR-B, SIR-C/D, SIR-E, GLOI, ERS-1, ERS-2, JERS-1, RADARSAT-1/2, ENVISAT, TerraSAR-X, CosmoSkymed, KOMPSAT-5

Received: 2014.10.31, accepted: 2014.11.25

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

** 광운대학교 전자통신공학과 학사과정(Dept. of Electronics and Communications Engineering, Kwangwoon University, junghan4242@naver.com)

*** 인천대학교 건설환경공학전공 학사과정(Dept. of Civil Engineering, Incheon National University, inu2012@naver.com)

등이 발사되었고, KOMPSAT-5의 경우는 우리나라가 2013년에 발사한 X-band SAR 위성이다. SAR에서 주로 사용하는 밴드는 X, C, L, P가 있으며, 파장의 범위는 2.75~76.9cm, 주파수 대역은 0.225GHz~10.90GHz이다.

지금까지 SAR 영상은 주로 L-band로 취득된 영상의 위상정보를 이용하여 정밀지형고도 및 지표면의 변위를 측정하는 레이더 간섭기법이 주로 사용되어 왔다. 그러나 L-밴드는 X 혹은 C-밴드에 비해 높은 긴밀도(coherence)가 유지되기 때문에 레이더 간섭기법의 적용에는 유용하지만 상대적으로 공간해상도가 떨어지는 단점이 있다. 이러한 단점은 광학영상에 비해 영상의 판독, 영상분류 등과 같은 시각적인 분석에 의존하는 활용분야에서의 적용을 제한시키는 측면이 있었다(Song and Kim, 2013). 따라서 최근에는 짧은 파장대의 X-밴드를 이용하여 공간해상도를 향상시킴으로써 사진측량학적 관점에서 영상을 해석하고자 하는 시도가 증가하고 있다(Notti et al., 2010; Lau, 2011).

수치표고모델은 다양한 분야에서 매우 중요한 자료원으로 사용되고 있으며, 위성을 통한 수치표고모델의 생성은 적은 비용으로 신속하게 제작할 수 있다는 장점 때문에 널리 사용되어 왔다. 특히 수치표고모델의 생성에 있어서 SAR 영상의 활용은 광학영상으로 취득이 불가능한 상황에서 영상을 취득할 수 있다는 장점에 지속적인 연구가 필요한 분야이기도 하다. SAR 영상으로부터 수치표고모델을 생성하기 위해서 레이더 간섭기법과 radargrammetry가 주로 사용되어 왔으나, 최근에는 하드웨어에 의존하지 않는 추상적 모델인 RPC(Rational Polynomial Coefficients)를 이용하기 시작하였다(Bang et al., 2012).

본 연구에서는 공간해상도의 향상을 위해서 발사된 X-band SAR 위성영상의 수치표고모델의 생성에 있어 효과적인 기법을 제시하고자 하였으며, 이를 위해서 TerraSAR-X 영상에 대해서 각각 레이더 간섭기법, radargrammetry, RPC를 적용하여 수치표고모델을 생성하고, 정확도를 평가하였다. 정확도의 평가는 IKONOS RPC를 보정하여 생성한 수치표고모델과 중복지역에서 모든 점의 고도를 비교하였으며, 정확도 평가 외에 X-band SAR 위성영상으로부터 수치표고모델의 생성시 각 방법별 특징을 분석하였다.

2. SAR 영상의 3차원 위치결정 기법

2.1 레이더 간섭기법

동일한 지점에서 획득된 두 개의 SAR 영상 위성정

보를 이용하여 정밀 지형고도 및 지표면의 변위를 측정하는 레이더 간섭기법(InSAR)은 지난 1990년대 이후 급속하게 발전한 마이크로파 원격탐사 핵심기술 중 하나이다(Rodriguex and Martin, 1992; Massonnet and Feigl, 1998; Kim, 2012). 레이더 간섭기법은 두 SAR 영상의 정합, 간섭도 생성, 위상필터링, 위성 불구속화, 고도변환, 좌표계 변환의 과정을 거쳐 수치표고모델을 생성한다(Kim, 2012). 전통적인 레이더 간섭기법 외에 정확도가 낮은 수치표고모델과 입체 레이더 영상이 존재하는 지역의 경우 차분간섭기법(DInSAR)을 이용하여 고도를 보정함으로써 정밀한 수치표고모델을 생성할 수 있다.

레이더간섭기법을 이용한 수치표고모델의 추출에 관한 연구는 1980년대 후반부터 활발하게 진행되어 왔으며, 수치표고모델의 정확도 향상을 위한 연구는 1990년 초반부터 진행되기 시작하였다. 차분간섭기법은 레이더 간섭기법에서 정확도가 낮은 수치표고모델을 추가적으로 활용하여 수치표고모델의 정확도를 향상시키는 기법으로서 과거에는 활용가능한 수치표고모델의 제한으로 인한 문제점이 있었으나 최근에는 ACE, GLAS/ICESat, GTOPO30, RAMP, ASTER, SRTM 등의 수치표고모델의 활용이 가능해짐으로써 차분간섭기법의 적용가능 지역이 증가하고 있다.

레이더 간섭기법을 이용하여 3차원 좌표를 추출하는 방법은 처리과정이 복잡하고 기복이 심한 지역에서 수직위치의 정확도가 떨어지는 단점을 가지고 있으며, 기선은 안테나간 거리로서 기선이 길어지면 고도의 변화에 대한 관측이 용이하지만 두 영상간의 상관성이 떨어지는 문제가 발생한다. 레이더 간섭기법의 적용을 위해서 영상을 취득하는 방법에는 하나의 탑재체에 두 개의 센서를 탑재하여 동시에 영상을 취득하는 single-pass 방법과 두 안테나가 서로 다른 비행체 또는 궤도에서 영상을 취득하는 repeat-pass 방식이 있다. 특히, X-band 레이더 영상의 경우 레이더 간섭기법을 위한 입체 영상을 취득하기가 어렵고, 특히 우리나라와 같이 사계절이 존재하고 지형의 기복이 심한 산림지역에서는 적용하기가 어렵다는 문제가 있다.

2.2 Radargrammetry 기법

SAR 영상의 radargrammetry는 광학영상의 photogrammetry와 유사한 개념으로서 Leberl (1990)은 레이더 영상으로부터 기하학적 정보를 추출하는 기법이라고 정의하였다. 레이더 간섭기법이 위상정보를 이용하는 반면에 radargrammetry는 amplitude 자료만을 이용하여 사진측량학적 개념인 영상정합 및 전방회회법을

거쳐 3차원 좌표를 생성한다. 사진측량에서 공선조건식을 이용하여 지상과 영상간의 관계를 정의하는 대신에 *radargrammetry*는 경사거리방정식과 도플러방정식을 이용한다.

레이더 영상의 경우 과거 L-band, C-band 위성영상을 이용하여 주로 레이더 간섭기법으로 수치표고모델의 생성과 지형변위 모니터링을 수행했으나, 최근에 KOMPSAT-5와 같이 X-band 위성영상이 발사됨으로써 *radargrammetry*를 통한 수치표고모델 생성 및 평가가 필요한 상황이다(Song and Kim, 2013). C-band와 X-band SAR 영상이 취득되면서 *radargrammetry*에 대한 연구가 시작되었고, *radargrammetry*는 레이더 간섭기법에 비해 생성되는 수치표고모델의 해상도는 낮으나, 레이더 간섭기법 보다 필요로 하는 입체 레이더 영상의 요구조건(높은 긴밀도, 동일한 입사각, 동일 대기 조건 등)이 엄격하지 않은 특징이 있다.

2.3 RPC 기법

RPC모델은 영상과 지상좌표간의 3차방정식의 비율로 표현되는 수학적 모델이다. RPC 모델은 카메라모델을 대체하기 위해 제작되었으며, 미국의 민간회사인 SPACE Imaging사에서 개발되었다. RPC 모델의 장점은 물리적 센서모델을 대체할 수 있는 모델링 방식으로 정확도 손실이 거의 없으며, 기존 물리적 모델에 비해 사용하기 쉽다는 특징이 있다. 향후 대부분의 고해상도 위성영상에서 RPC 파일이 제공될 것으로 예상된다. 특히, 위성의 종류가 다양해지고 각각의 위성마다 서로 다른 기하모델을 제공하는 시점에서 RPC는 다양한 위성센서 모델을 동일한 형태의 다항식으로 표현가능하다는 장점이 있다.

3. 연구방법

본 연구에서는 X-band SAR 위성영상으로부터 3차원 위치 결정이 가능한 세 가지 기법을 이용하여 수치표고모델을 생성하고, 생성된 수치표고모델을 IKONOS 입체영상으로 생성한 수치표고모델과 비교하여 정확도 평가를 수행하였다. 일반적으로 SAR 영상으로부터 3차원 위치결정을 수행하는 과정은 레이더 간섭기법과 *radargrammetry*이지만, RPC는 영상의 종류에 상관없이 적용가능한 수학적 모델이므로 본 연구에 포함시켜 분석을 수행하였다. 본 연구의 전체적인 연구과정은 Fig. 1과 같다.

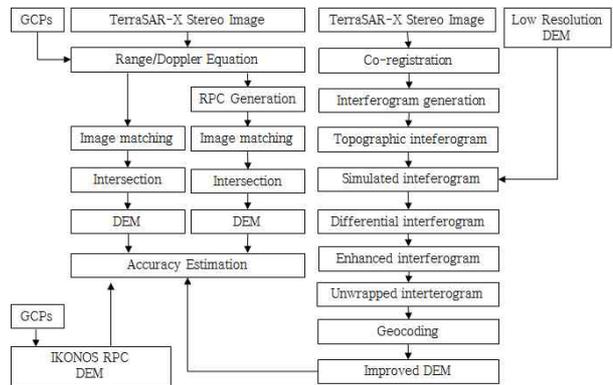


Figure 1. Flowchart of the study

4. 실험 및 분석

4.1 연구대상 지역 및 사용 위성영상

본 연구의 대상지역은 대전시를 중심으로 한 그 주변 산업지역이다. 사용된 위성영상은 2008년 11월에 촬영된 TerraSAR-X stripmap 모드 영상으로서 레이더 간섭기법과 *radargrammetry* 및 RPC의 적용에 적합한 입체영상의 기하가 서로 다르므로 비슷한 시기에 촬영된 두 쌍의 입체영상을 사용하였다(Fig. 2, Fig. 3).

Table 1은 본 연구의 수행을 위해서 사용한 위성영상의 세부특성을 나타낸 것으로서 Table 1에서 보는 바와 같이 레이더 간섭기법을 위한 입체영상은 국부입사각이 약 39°로 유사하고, *radargrammetry* 및 RPC를 위한 입체영상은 국부입사각의 차이가 15.72°인 입체영상이다.

레이더 간섭기법으로 3차원 위치결정을 위해서는 기선거리가 너무 길어질 경우 고도의 변화에 대한 관측이 용이하지만 두 영상간의 상관성이 떨어지는 문제가 발생하고, 반대로 기선길이가 너무 짧을 경우 두 영상간의 상관성이 증가하지만 고도의 모호성(ambiguity of height)이 높아지는 현상이 발생한다. 본 연구에서 레이더 간섭기법을 위해서 사용한 입체영상의 수직 기선길이는 53.816m이고, 촬영시기의 차이는 11일이다. 본 연구에서 사용한 영상은 수직기선이 매우 짧기 때문에 고도의 모호성이 115.58m로서 큰 편이다.

TerraSAR-X의 경우 repeat cycle은 11일이고 재방문은 빔 모드에 따라서 약 2일까지 가능하지만 레이더 간섭기법의 적용을 위해서는 동일 기하를 유지해야 하므로 11일은 TerraSAR-X의 레이더 간섭기법 적용을 위한 최소의 시간차로 볼 수 있다. 우리나라 위성인 KOMPSAT-5는 TerraSAR-X보다 더 긴 28일의 repeat cycle을 가지므로 temporal baseline 측면에서는 레이더 간섭기법의 적용에 TerraSAR-X 보다 더 나쁜 조건을 가지고 있다.

Table 1. Specifications of satellite images

	TerraSAR-X for InSAR		TerraSAR-X for radargrammetry and RPC	
	Reference Data	Match data	Reference Data	Match data
Acquisition Date	2008.11.12	2008.11.23	2008.11.20	2008.11.14
Pixel spacing	1.364 by 1.851	1.364 by 1.851	0.909 by 1.898	1.364 by 1.977
Range Dir.	increasing	increasing	increasing	increasing
Processing	SSC	SSC	SSC	SSC
Azimuth Dir.	increasing	increasing	increasing	increasing
Local inci, ang,	39.224163	39.225226	28.747949	44.466729
Orbit direction	DESCENDING	DESCENDING	ASCENDING	ASCENDING
Mode	Stripmap	Stripmap	Stripmap	Stripmap
Image Size	15052 by 32679	15052 by 30559	17408 by 29861	16480 by 28559



Figure 3. IKONOS stereo image

정확도의 평가를 위한 기준 수치표고모델(reference DEM)의 생성을 위해서 사용한 IKONOS 위성영상은 1m급 해상도로서 2003년 4월과 6월에 각각 촬영된 영상이다(Fig 3).

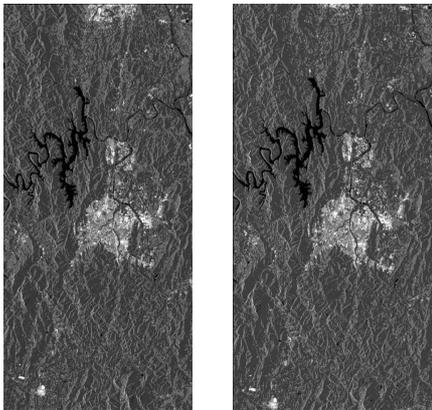
4.2 자료처리 및 평가

본 연구에서는 TerraSAR-X 위성영상에 대해서 레이더 간섭기법, radargrammetry, RPC를 이용하여 수치표고모델을 생성하고 정확도를 평가하고자 하였으며, 레이더 간섭기법으로는 2-pass 차분간섭기법을 적용하여 수치표고모델을 생성하였다. 자료처리를 위한 좌표계는 GRS80 타원체, TM투영(가상원점의 좌표 60만, 20만, 중부원점 기준), GRS80 데이터틀을 적용하였다.

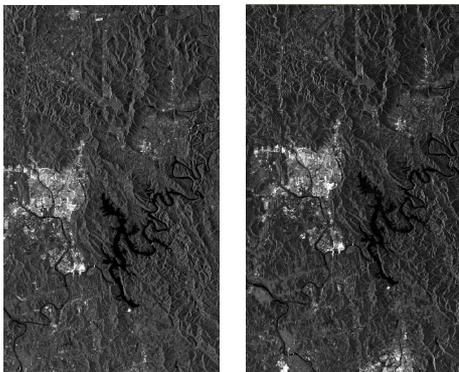
차분간섭기법은 두 장의 SAR 영상과 정밀도가 낮은 수치표고모델을 이용하는 방법으로 정밀도가 낮은 수치표고모델을 차분간섭기법을 통해서 잔여 위상을 보정함으로써 정확도가 낮은 수치표고모델의 고도오차를 보정하고 수치표고모델의 정밀도를 향상시킬 수 있다. 2-pass 차분간섭기법을 이용한 수치표고모델 제작을 위해 stripmap 모드로 촬영된 2장의 TerraSAR-X 영상과 90m 해상도의 SRTM-3 수치표고모델을 사용하였다. 차분간섭기법의 경우에는 같은 지역에 대해 서로 다른 시간에 취득된 두 SAR 영상 간 위상차를 통해 생성한 간섭도와 수치표고모델을 통해 생성한 간섭도의 차를 통해 차분간섭도를 생성할 수 있으며, 이는 지형오차, 변위, 대기효과, 노이즈 성분의 함으로 나타낼 수 있다(식(1)). 따라서 두 장의 SAR 영상만을 이용하여 수치표고모델 오차 성분을 제거할 경우에는 변위, 대기효과, 노이즈 성분에 의한 오차를 포함하게 된다(Kim et al., 2005, Kim and Kim, 2005).

$$\Phi_{diff} = \Phi_{deformation} + \Phi_{DEMerror} + \Phi_{atmosphere} + \Phi_{noise} \tag{1}$$

본 연구에서 사용한 두 영상은 매우 가까운 시기에



(a) TerraSAR-X stereo image for InSAR (left: reference data, right: match data)

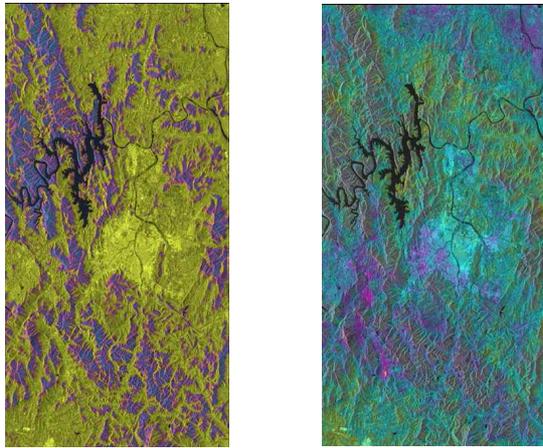


(b) TerraSAR-X stereo image for radargrammetry & RPC (left: reference data, right: match data)

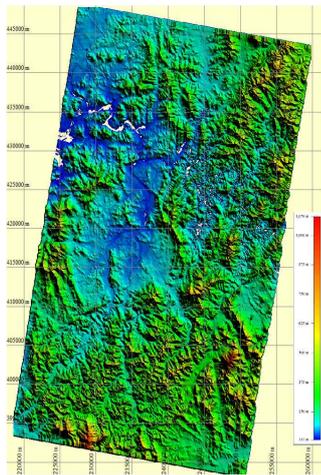
Figure 2. Satellite images

촬영된 영상으로 변위로 인한 오차는 없다고 가정하였다. 그러나 단일 간섭쌍에 의해 생성된 수치표고모델은 SAR 영상의 획득 시점의 대기상태에 따라 대기효과에 의해 오차가 발생할 수 있다. 특히 노이즈 성분의 경우에는 영상 쌍에서의 상관도에 영향을 받게 되는데, 산지와 같은 지역은 temporal decorrelation 현상에 의해 노이즈 성분으로 인한 오차가 크게 나타난다. 생성한 차분간섭도에 대해 위상불구속화 과정을 수행하여 실제 수치표고모델 오차 성분을 추출할 수 있다. 이 때, 산지지역의 경우 사용된 수치표고모델의 해상도가 낮을 경우 최대 수백 미터의 오차가 발생할 수 있다(Kim et al., 2005, Kim and Kim, 2005).

2-pass 차분간섭기법을 통해 입력 수치표고모델 오차 성분을 보정하여 개선된 수치표고모델은 Fig. 4(c)와 같고, Fig 4(a)는 생성된 긴밀도, Fig 4(b)는 차분간섭도이다.



(a) Coherence map (b) Differential Interferogram



(c) DEM

Figure 4. InSAR DEM

RPC와 radargrammetry를 적용하여 수치표고모델을 생성하기 위해서는 먼저 물리적 궤도모델링을 수행해야 한다. SAR 센서를 탑재한 위성의 기하 모델링에는 경사거리방정식과 도플러방정식을 사용한다. 해당 식을 Taylor 급수를 통해 전개하고, 최소 제곱법에 의한 행렬 연산을 통해 입력한 지상기준점과 영상기준점을 기반으로 모델식의 매개변수를 보정한다. 초기 모델링 수행에는 모든 기준점 좌표를 사용하여 수행한 다음, 오차의 범위가 3σ를 초과하는 지상기준점은 제외한 후 다시 모델링을 수행하는 작업을 반복함으로써 정확도 높은 기하 모델링을 수행하였다. 모델식의 매개변수 보정이 완료되면, 영상좌표와 지형고도정보를 이용하여 해당 지점에 상응하는 지상의 평면좌표를 계산할 수 있으며, 반대로 지상좌표를 입력하여 이에 대응하는 영상 좌표를 계산할 수 있다.

$$Range = |\vec{p} - \vec{s}| \tag{2}$$

$$Doppler = \frac{2(\vec{p} - \vec{s}) \cdot (\vec{p}' - \vec{s}')}{\lambda|\vec{p} - \vec{s}|} \tag{3}$$

여기서, λ : SAR 센서의 파장길이, \vec{p} : 지상점의 위치벡터, \vec{p}' : 지상점의 속도벡터, \vec{s} : 위성의 위치벡터, \vec{s}' : 위성의 속도벡터이다. 물리적 궤도모델링을 위해서 각각 5점의 기준점을 사용하였다. Table 2는 TerraSAR-X 물리적 궤도모델링의 정확도를 평가한 것

Table 2. Accuracy of physical sensor model

		Reference image					
		Error in ECEF (m)			Error in TM (m)		
CP		ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ
1		-0.056	-0.646	0.650	0.434	0.809	1.06.E-04
2		0.538	-0.040	0.488	-0.405	0.604	1.10.E-04
3		0.210	0.617	-0.491	-0.539	-0.613	1.52.E-04
4		-0.114	-0.207	0.130	0.215	0.162	1.61.E-04
5		-1.228	-0.925	-0.016	1.537	-0.013	7.32.E-05
6		-0.558	0.772	-1.295	-0.019	-1.608	9.01.E-05
7		-0.161	-0.647	0.566	0.518	0.705	9.01.E-05
8		1.368	1.076	-0.032	-1.740	-0.047	7.71.E-05
		Match image					
		Error in ECEF (m)			Error in TM (m)		
CP		ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ
1		-0.512	-0.469	0.084	0.692	0.107	8.64.E-05
2		1.158	1.078	-0.209	-1.573	-0.265	9.27.E-05
3		0.527	0.485	-0.087	-0.713	-0.112	1.06.E-04
4		-1.266	-1.183	0.231	1.722	0.295	1.10.E-04
5		0.093	0.089	-0.019	-0.128	-0.025	1.61.E-04

으로서 기준영상(reference image)은 8점, 상대영상(match image)은 5점의 검사점을 이용하였다. Table 3에서 보는 바와 같이 기준영상과 상대영상 모두 X, Y, Z 방향에서 2m 이내의 정확도를 보였다.

Radargrammetry를 이용하여 수치표고모델의 생성과정에서 중요한 영상정합의 결과를 향상시키기 위해서는 적절한 필터를 적용하여 스페클을 제거해야 하며, 본 연구에서는 스페클제거를 위해서 일반적으로 많이 활용되고 있는 3×3 윈도우 크기의 Gamma-Map 필터를 사용하였고, 이 때 variation의 매개변수는 0.2, variation of multiplier는 1.0을 적용하였다. 사용된 TerraSAR-X 영상은 경사거리영상으로서 경사거리방향으로의 영상소 간격이 0.909m, 위성진행방향으로는 영상소 간격이 1.899m로 두 간격을 동일하게 1:1 축적으로 조정하였다. 두 입체영상간의 상호등록은 부등각 사상변환식을 사용하였으며, 접합점은 평탄지역과 산악지역에서 모두 취득하였다. 영상정합을 위해서 피라미드 상관관계정합을 사용하였고, 6단계의 피라미드 영상을 생성하여 영상정합을 수행하였다. 피라미드 영상정합 시 임계값의 범위는 0.2~0.4로 설정하였다.

Fig. 5는 radargrammetry를 적용하여 생성한 수치표고모델로서 해상도는 2m이며, 본 연구에서는 대전지역을 중심으로 한 지형의 형상(도심지 및 구릉지)에 적합한 영상정합 매개변수를 사용하였기 때문에 레이더 간섭기법, RPC 수치표고모델에 비해 좁은 지역만이 수치표고모델로 생성되었다.

계산된 물리적 레도모델을 이용하여 TerraSAR-X 영상의 RPC를 생성하였다. RPC는 해당 영상에 대한 영상점과 이에 상응하는 지상점 정보만을 이용하여 계수 생성이 가능하며, 총 78개의 계수로 구성되어 있으므로 많은 수의 기준점이 필요하다. 따라서 실험 영상을 일정 크기의 격자로 구분한 후 각 격자에 대해 다수의 영상점을 추출하고, 이에 대응하는 지상좌표를 모델링을 통해 계산하여 RPC 계수를 생성하였다. 본 연구에서는 실험 영상에 대해 행 방향으로 50점, 열 방향에 대해

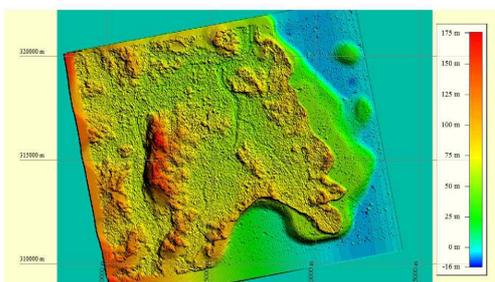


Figure 5. Radargrammetry DEM

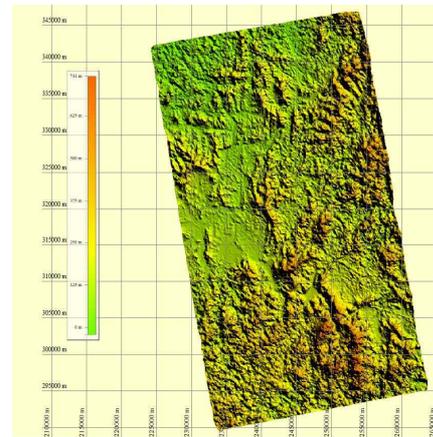


Figure 6. RPC DEM

20점을 추출하였고, 지형고도에 대해서는 SRTM을 이용하여 해당 지역을 10 등분하여 고도 정보를 취득하였다. 즉, 실험 영상에 대해 총 10,000점의 영상점과 지상점을 추출하였으며, 이를 이용하여 RPC 계수를 생성하였다. 영상정합은 radargrammetry와 동일하게 6단계 피라미드 영상을 생성하여 임계값 0.5인 영역기반 영상정합을 수행하였다. Fig. 6은 RPC로부터 생성한 수치표고모델로서 해상도는 radargrammetry와 동일한 2m이다.

각각의 기법으로 생성된 수치표고모델(Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6)에 대해서 IKONOS RPC로부터 생성된 수치표고모델을 기준 수치표고모델로 가정하여 정확도를 평가하였다. IKONOS 입체영상으로부터 생성되는 수치표고모델을 정확도 평가를 위한 기준 수치표고모델로 사용하고자 하였기 때문에 보다 정밀한 IKONOS RPC의 보정을 위해서 42개의 기준점을 사용하였고, 40점의 검사점을 이용하여 정확도를 평가하였다. 기준점은 static GPS 측량을 수행하여 취득하였으며, 원점은 중부도원점을 기준으로 하였다. 삼각점은 전의410 외 5개의 점을 이용하였으며, 상시기준국은 국토지리정보원 청주, 천문연구소 대전 기준국을 활용하였고, GPS 데이터의 처리를 위해서 기선의 해석 및 망조정 등을 수행하였다.

Fig. 7은 IKONOS RPC를 이용하여 생성한 수치표고모델이고, Fig. 8은 검사점에 대한 정확도 평가결과이다. RPC로부터 생성된 IKONOS 수치표고모델의 정확도는 X, Y, Z방향으로 각각 약 1.4m, 0.63m, 1.23로서 TerraSAR-X로부터 생성된 수치표고모델의 정확도를 평가하는 자료로 활용이 가능함을 알 수 있다.

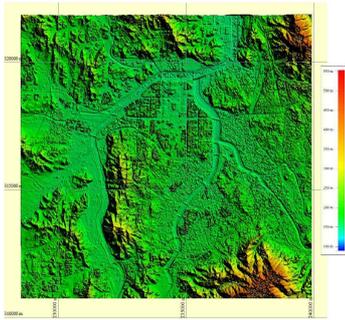


Figure 7. IKONOS RPC DEM

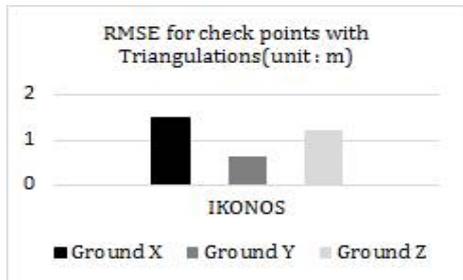


Figure 8. Accuracy of IKONOS RPC DEM

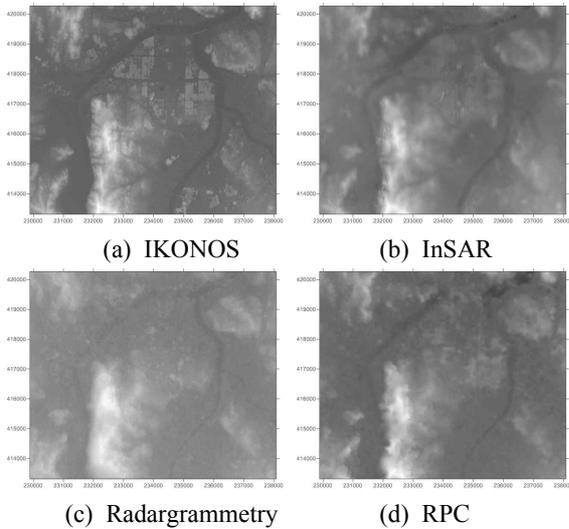


Figure 9. DEM for accuracy evaluation

세 가지 기법으로 생성된 수치표고모델의 정확도 평가는 각각의 수치표고모델과 IKONOS로부터 생성된 수치표고모델과의 중복영역을 Fig. 9와 같이 추출하고, 중복영역 모든 점에 대한 고도를 비교하였다. 그 결과는 Table 3에서 보는 바와 같다. 정확도평가를 위해서 추출한 중복영역의 수치표고모델의 크기는 4096×3474 영상소이다.

Table 3에서 보는 바와 같이 RMSE를 기준으로 했을 때 레이더 간섭기법이 가장 좋은 정확도를 보였고,

Table 3. DEM accuracy

InSAR (unit: m)	
Minimum error	-45.7280
Maximum error	57.5977
Mean error	1.2861
Mean absolute error	8.5378
RMSE	11.0037
Absolute linear error 90	18.3889
RPC (unit: m)	
Minimum error	-66.3663
Maximum error	96.5146
Mean error	-5.2049
Mean absolute error	9.7275
RMSE	12.1351
Absolute linear error 90	18.3110
Radargrammetry (unit: m)	
Minimum error	-100.8215
Maximum error	80.8106
Mean error	-31.9391
Mean absolute error	32.6861
RMSE	34.0602
Absolute linear error 90	41.3299

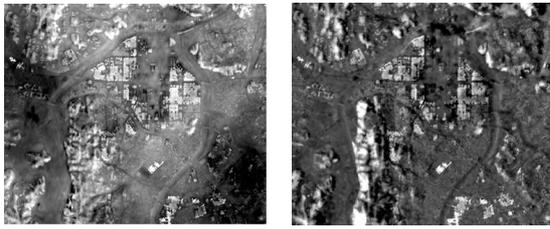
Table 4. Volume and surface area of DEMs

	Volume (m ³)	Surface area (m ²)
IKONOS	3,087,625,402	60,795,908
InSAR	3,341,216,124	57,565,823
RPC	2,887,126,050	57,623,089
Radargrammetry	4,236,159,967	61,527,593

반대로 radargrammetry가 가장 낮은 정확도를 보였으며, 다른 기준으로 평가하면 RPC의 경우 레이더 간섭 기법과 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

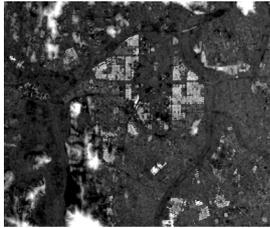
Table 4는 수치표고모델의 특성 평가를 위해서 생성된 수치표고모델의 최저 표고값을 기준면으로 심프슨 법칙을 적용하여 체적 및 표면적을 계산한 결과이다. IKONOS 성과와 비교했을 때 체적은 RPC, 표면적은 radargrammetry가 다른 기법에 비해 상대적으로 정확하게 나타났다.

Fig. 10은 IKONOS 수치표고모델과 세 가지 방법으로 생성된 수치표고모델과의 차이를 절대값으로 표현한 영상으로서 밝은 지역이 오차가 큰 지역을 의미한다. 세 가지 수치표고모델 모두 다른 지역에 비해서 산악지에서 IKONOS 수치표고모델과 차이가 많이 발생함을 알 수 있다. 영상에서 최대 차이는 Table 3의 최대, 최소오차와 동일하다.



(a) IKONOS- InSAR

(b) IKONOS- RPC



(c) IKONOS- radargrammetry

Figure 10. DEM difference

5. 결 론

2013년 우리나라는 X-band SAR 위성인 KOMPSAT-5를 발사하였고, 이에 따라 X-band SAR 영상의 활용성에 대한 평가가 필요한 시점이다. 본 연구에서는 X-band SAR 위성의 다양한 활용분야 중에서 수치표고모델의 생성에 대한 평가를 수행하였다. 이를 위하여 TerraSAR-X 위성영상에 대해서 각각 레이더 간섭기법, radargrammetry, RPC를 적용하여 각각 수치표고모델을 생성하고, 생성된 수치표고모델의 정확도 및 처리과정에서의 장단점에 대한 평가를 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 레이더 간섭기법으로 수치표고모델을 생성하고자 할 때는 radargrammetry 혹은 RPC를 적용할 수 있는 영상보다 더욱 엄격한 영상의 기하가 필요하며, 특히 X-band SAR 위성의 경우 높은 긴밀도를 유지하기가 어렵고, 특히 우리나라와 같이 사계절이 뚜렷하고 대부분이 산림지역의 경우 좋은 기하의 repeat-pass 입체영상 확보가 매우 어렵다. 하지만, 좋은 기하를 가진 입체영상의 확보가 가능하다면 RPC나 radargrammetry보다 높은 정확도의 수치표고모델의 생성이 가능하고, 타 분야에서의 활용성도 매우 높을 것으로 생각된다. X-band SAR 영상을 이용하여 지표면의 고도나 변위를 추출하고자 할 때 다른 밴드에 비해 single-pass영상을 이용하여야만 정확도가 확보된 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

둘째, 수치표고모델 생성에 있어 매우 중요한 단계인 영상정합의 과정에서 RPC는 도심지역과 산악지역이 같이 분포하더라도 영상정합에 큰 문제가 발생하지 않

았으나, radargrammetry의 경우 도심지역과 산악지역을 동시에 처리할 경우 영상정합에서 문제가 발생하였다. 따라서 radargrammetry 경우 표고값의 변화정도에 따라 대상지역을 적절히 분할하여 자료처리를 수행하거나 위성영상의 취득기하, 대상지역의 상태에 적합한 영상정합 매개변수를 적용해야 해야 한다.

셋째, 자료처리를 위한 활용 가능 소프트웨어 측면에서 radargrammetry를 처리할 수 있는 소프트웨어의 종류가 많지 않은 것에 비해 RPC 처리를 지원하는 소프트웨어는 다수가 존재하기 때문에 자료처리 관점에서 RPC를 기반으로 수치표고모델을 생성하는 것이 매우 효과적이다. 레이더 간섭기법의 경우 기본 모듈 외에 별도의 모듈을 추가로 확보해야 하며, 매우 복잡한 자료처리 과정을 거쳐야 하는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 각 기법별로 하나의 실험영상만으로 정확도 평가를 수행하였고, 이것은 객관적인 정확도를 제시하기에는 한계를 가지며, 특히 레이더 간섭기법의 경우 실험영상의 기하에 많은 영향을 받으므로 single-pass 및 repeat-pass 영상에 대한 평가가 더 필요하다고 할 수 있다

감사의 글

본 연구는 2014년 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2012R1A1A1013894)이며, 이에 감사드립니다.

References

1. Bang, 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. Chan, Y. K., Koo, V. C. and Chuah, H. T., 2013, The progress of unmanned aerial vehicle synthetic aperture radar development for environmental monitoring, Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings, pp. 983-986
3. Kim, C. O. and Kim, J. W., 2005, Generation and assessment of DEM from InSAR and differential InSAR, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 23, No. 2, pp. 147-156.
4. Kim, C. O., Kim, S. W., Lee, D. C., Lee, Y. W. and Kim, J. W., 2005, A Study on the enhancement of

- DEM resolution by radar interferometry, Korean Journal of Remote Sensing, Vol. 21, No. 4, pp. 287-302.
5. Kim, S. W., 2012, Development of unwrapped InSAR phase to height conversion algorithm, Korean Journal of Remote Sensing, Vol. 28, No. 2, pp. 227-235.
 6. Leberl, F., 1990, Radargrammetric image processing, Artech House, Norwood, MA.
 7. 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.
 8. Massonnet, D. and Feigl, K. L., 1998, Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface, Review of Geophysics, 36, 4 pp. 441-500.
 9. 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.
 10. Rodriguez, E. and Martin, J. M., 1992, Theory and design of interferometric synthetic aperture radars. IEEE Proceedings-F, Vol. 139, No.2, pp. 147-159.
 11. Song, Y. S. and Kim, G. H., 2013, Assessment of DEM generated by stereo C-band and X-band SAR images using radargrammetry, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, Vol. 21, No. 4, pp. 109-116.