인공위성 레이더 간섭기술을 이용한 조간대 지형도 작성에 관한 연구

박정원* · 최정현* · 이윤경** · 원중선*†

* 연세대학교 지구시스템학과, ** 한국해양연구원

Intertidal DEM Generation Using Satellite Radar Interferometry

Jeong-Won Park*, Jung-Hyun Choi*, Yoon-Kyung Lee** and Joong-Sun Won*†

* Department of Earth System Sciences, Yonsei University, ** Korea Ocean Research & Development Institute

Abstract : High resolution intertidal DEM is a basic material for science research like sedimentation/erosion by ocean current, and is invaluable in a monitoring of environmental changes and practical management of coastal wetland. Since the intertidal zone changes rapidly by the inflow of fluvial debris and tide condition, remote sensing is an effective tool for observing large areas in short time. Although radar interferometry is one of the well-known techniques for generating high resolution DEM, conventional repeat-pass interferometry has difficulty on acquiring enough coherence over tidal flat due to the limited exposure time and the rapid changes in surface condition. In order to overcome these constraints, we tested the feasibility of radar interferometry using Cosmo-SkyMed tandem-like one-day data and ERS-ENVISAT cross tandem data with very short revisit period compared to the conventional repeat pass data. Small temporal baseline combined with long perpendicular baseline allowed high coherence over most of the exposed tidal flat surface in both observations. However the interferometric phases acquired from Cosmo-SkyMed data suffer from atmospheric delay and changes in soil moisture contents. The ERS-ENVISAT pair, on the other hand, provides nice phase which agree well with the real topography, because the atmospheric effect in 30-minute gap is almost same to both images so that they are cancelled out in the interferometric process. Thus, the cross interferometry with very small temporal baseline and large perpendicular baseline is one of the most reliable solutions for the intertidal DEM construction which requires very accurate mapping of the elevation.

Key Words : Tidal flat, radar interferometry (InSAR), digital elevation model (DEM)

요약 : 조간대 지역의 고해상 지형도는 해수 운동에 의한 퇴적 및 침식량의 변화와 같이 과학적인 연구의 기초자료로 쓰일 뿐만 아니라 연안 습지의 실제적인 관리 및 환경변화 모니터링의 도구로서도 그 활용의 가치가 높다. 그러나 조간대는 하상 퇴적물의 유입과 조석현상에 의해 빠르게 변화하고 있어 원격탐사와 같이 단기간에 넓은 지역을 조사할 수 있는 기술의 적용이 필요하다. 레이더 간섭기술은 가장 보편적이면서 성공적인 고해상 지형도 작성 기술로 알려져 있으나, 조간대에서는 지표노출시간의 제약 및 빠른 상태변화로 인해 일반적인 repeat-pass 간섭기술로는 충분한 긴밀도를 얻기 힘들다. 이 연구에서는 재방문주기가 짧은 Cosmo-SkyMed 1일 간격 관측자료와 ERS2-ENVISAT 30분 간격 관측자료를 이용하여 레이더 간섭기

접수일(2012년 1월 19일), 수정일(1차 : 2012년 2월 13일), 게재확정일(2012년 2월 14일).

† 교신저자: 원중선(jswon@yonsei.ac.kr)

술을 이용한 조간대 지형도 작성을 실험하였다. 두 자료 모두 긴 수직기선으로 인한 높은 고도민감도와 짧은 관측주기로 인한 높은 긴밀도로 간섭위상을 구할 수 있었으나, Cosmo-SkyMed 관측자료에서는 대기에 의한 위상지연 효과와 조석에 의한 조간대 표층의 함수율 변화로 인하여 조간대와 같이 평평한 지역의 지형정보를 추출하는데에 어려움이 발생한다. 반면에 ERS2-ENVISAT 관측자료는 이중센서간의 관측중심주파수 차이를 상쇄하기 위해 설정된 긴 수직기선 덕분에 매우 높은 고도민감도를 가지며, 30분이라는 짧은 관측주기는 간섭쌍을 이루는 두 영상에 포함된 대기지연효과를 대부분 상쇄시키므로 조간대의 지형도 작성에 이상적인 자료로 판단된다.

1. 서론

연안환경은 육지와 해양이 접하고 있는 완충 지역으로 생태적, 환경적, 지질학적 활용 가치가 매우 높으며 해양에너지 및 육지로부터의 퇴적물의 공급으로 인한 시공간적 변화를 지속적으로 겪고 있다. 따라서 연안 지역 지도 제작, 특히 이를 위한 지형도(Digital Elevation Model, DEM) 자료의 획득은 과거와 현재의 지형 변화를 이해하는데 도움이 될 뿐만 아니라 해도의 갱신을 통한 연안 및 항로의 개발 계획 등과 같은 국토의 효율적인 관리에 필수적이다. 한반도 서해안 조간대는 조석차의 영향뿐만 아니라 간척사업에 따른 퇴적 및 침식작용 등의 환경 인자에 의해 끊임없이 변화하고 있으며 이러한 조간대의 지형적 변화를 정량적으로 연구하기 위하여 위성 원격탐사를 이용한 다양한 분석이 이루어지고 있다. 원격탐사를 이용한 조간대 DEM 작성은 일반적으로 영상자료로부터 waterline을 추출하고 보간하여 사용하는 방법(Ryu *et al.*, 2002)과, LiDAR를 이용한 방법(White and Wang, 2002), 레이더 간섭기술(SAR Interferometry, InSAR)을 이용한 방법(Wimmer *et al.*, 2000)이 대표적이다. 항공기를 이용할 경우, LiDAR나 single-pass InSAR를 이용하는 것이 가장 정밀한 결과를 얻을 수 있으나 이는 고비용의 센서시스템을 요구하고 비주기적인 관측이라는 점에서 매우 제한적으로 수행된다. 반면에 주기적인 관측을 하는 위성 시스템의 경우 waterline을 이용한 연구가 주로 사용되었으나 이는 다양한 조위를 갖는 영상이 필요하기 때문에 단일센서를 사용하는 경우 자료확보에 쫓겨는 수개월에서 길게는 수년의 시간이 걸린다. 따라서 장기간에 걸친 자료확보는 자료획득기간 내에 발생하는 지형변화를 반영할 수 없다는 한계가 있으며, 또한 조위계가 설치되지 않은 지역에서는 waterline에 대입할 고도를 추

정하기 어렵기 때문에 정밀도가 떨어진다. 반면 레이더 간섭기술은 하나의 간섭쌍을 이용하여 넓은 지역의 DEM을 생성할 수 있기 때문에, 한반도 서해안과 같이 조간대가 광활하게 발달되어 있는 곳에서는 매우 유용하다. 간섭기술을 이용하여 조간대 DEM을 작성하는 경우 높은 고도민감도(Ambiguity Height)를 얻기 위해 수직기선(Perpendicular Baseline)이 긴 간섭쌍을 이용해야 하며, 높은 간섭긴밀도(Interferometric Coherence)를 얻기 위해 관측 시간간격(Temporal Baseline)이 짧은 간섭쌍을 이용해야 한다. 그러나 전지구 관측을 기본 목적으로 하는 극궤도 위성시스템은 단일위성의 재관측 주기가 수~수십일로 길며, 간섭긴밀도 유지를 위해 짧은 수직기선을 유지하도록 조정하기 때문에 조간대 DEM 작성에 적합한 조건을 갖춘 자료의 획득이 거의 불가능하다. 그러나 최근 ASI의 Cosmo-SkyMed 시스템의 운영 및 ESA의 ERS2-ENVISAT tandem campaign, DLR의 TanDEM-X등의 다중위성을 통한 관측시스템의 개발로 인해 보다 짧은 관측 주기, 보다 긴 수직기선조건의 자료 획득이 가능해졌다. 이 연구에서는 이들 다중 위성 시스템 중 자료가 공개된 Cosmo-SkyMed의 1일 주기 영상과 ERS2-ENVISAT의 30분 간격 영상을 이용하여 레이더 간섭기술을 통한 조간대 지형도 제작의 가능성을 평가하였다.

2. 연구 지역

한반도 서해안의 강화도와 영종도 사이에 발달한 조간대(Fig. 1)는 평균 8 m의 높은 조차로 인하여 약 105 km²에 이르는 넓은 지역에 걸쳐 발달하였으며, 한강, 임진강, 예성강으로부터 유입되는 담수에 의한 퇴적/침식 작용이 활발하다(한국해양연구원, 1998). 특히 이 지역은

Fig. 1. Location map of study area acquired on 11 Oct. 2008 by Komsat-2 MSC.

세계자연기금과 아시아 습지보호협약이 목록화한 우리나라 주요습지의 10.45%, 경기도 해안 습지 전체의 20%에 해당하는 부분으로 환경적 가치가 높게 평가되고 있다(국립공원관리공단, 1998). 그러나 영종도 신공항건설과 조력발전소 건설추진 등의 대규모 토목공사로 인하여 자연갯벌 훼손문제가 발생하고 있으며, 조류로의 인위적인 변화에 따른 주변 조간대의 퇴적물 특성과 생태계의 변화가 빠르게 진행되어 다양한 분야의 연구자들의 관심이 집중된 주요 모니터링 지역이다.

3. 연구 방법과 자료처리

1) 동일 센서를 이용한 간섭기술

레이더 간섭기술은 과거 SRTM 미션을 비롯하여 현재의 TanDEM-X 미션에 이르기까지 전 지구적인 지형도 작성에 활용되고 있는 가장 대표적인 지형정보 획득 방법이다. 그러나 레이더 간섭기술을 통해 높은 정밀도의 조간대 지형도를 작성하기 위한 필수 조건인 긴 수직기선(perpendicular baseline)과 짧은 시간 간격(temporal baseline)은 단일 센서로부터 얻어지는 관측 자료로부터는 동시에 만족되기 어렵다. 그러나 최근에 마지막 4호기까지 궤도상에 올라 본격적인 기동이 가능해진 Cosmo-SkyMed는 동일한 재원의 SAR 위성 4기

가 순차적으로 지표를 관측하며, 이로부터 1, 3, 8, 16일 간격의 비교적 짧은 관측주기를 갖는 간섭쌍을 획득할 수 있다. 조석주기인 12시간 25분을 고려할 때, 1일 간격의 간섭쌍을 이루는 두 영상은 비교적 유사한 조위상태에서 획득되고 지표의 변화가 적으므로 조간대와 같이 빠른 상태변화를 보이는 환경에서도 높은 긴밀도를 갖는다. 일반적으로 지형도를 제작을 목적으로 레이더 간섭기술을 적용할 경우, 고도민감도가 좋아야 하기 때문에 수직기선이 긴 간섭쌍이 요구된다. 반면에 지표변위를 관측을 목적으로 차분간섭기술을 적용할 경우는 높은 긴밀도를 얻기 위해 수직기선이 짧은 간섭쌍을 이용한다. 이에 위성 궤도의 운영은 특별한 미션을 수행 중이 아니라면 보통 수~수백 m 사이를 유지한다. 간섭위상으로부터 지표의 기복을 측정할 때 중요한 것은 수직방향의 정밀도로, 관측시간간격에 의한 위상오차(temporal decorrelation)를 무시하고 단순히 긴밀도에 따른 위상오차 σ_ϕ , 그리고 수직기선과 관련된 고도오차 σ_H 를 계산하면 다음과 같다(Guarnieri and Prati, 2000).

$$\sigma_\phi = \sqrt{\frac{1 - \gamma^2}{2\gamma N}} \quad (1)$$

$$\sigma_H = \sigma_\phi \frac{R\lambda \sin\theta}{4\pi B_\perp} \quad (2)$$

여기에서 γ 는 긴밀도, N 은 멀티룩(multi-look)수, R 은 경사거리(slant range distance), λ 는 파장, θ 는 입사각, $B_\perp$ 는 수직기선을 나타낸다. 연구지역인 강화도 남단 조간대는 최고점과 최저점의 고도차가 약 10 m로 지형도 작성을 위해서는 수~수십 cm급의 고도정밀도가 요구된다. 이 연구에서 사용한 Cosmo-SkyMed 자료는 2010년 10월 16일과 17일에 각각 Cosmo-SkyMed 2호기, 3호기로부터 stripmap 모드로 획득된 SLC 자료이며, 간섭쌍을 이루는 영상의 주요 파라미터는 Table 1과 같다. 이로부터 식 (1), (2)를 통해 계산되는 고도오차는 영상샘플링 간격을 ENVISAT 영상과 유사하게 맞출 경우(range, azimuth 각각 9-look), 긴밀도 0.5에서는 32 cm, 긴밀도 0.7에서는 22 cm로 조간대의 지형도를 작성하기에 양호한 조건을 갖추고 있다. 또한 영상 취득시의 조위는 각각 약 340 cm, 278 cm로 일부 저지대를 제외하고 대부분의 조간대 지역이 잘 드러나 있다. 조위는 국립해양조사원의 1시간 실측 조위자

Table 1. Summary of data used to form interferograms

Parameter	Cosmo-SkyMed	ERS-ENVISAT
Acquisition Date	2010/10/16 (CSK2)	2009/2/6 (ERS-2)
	2010/10/17 (CSK3)	2009/2/6 (ENVISAT)
Temporal Baseline	1 day	30 minutes
Perpendicular Baseline at the Scene Centre	496 m	2182 m
Ambiguity Height	20.9 m	4.2 m
Carrier Frequency	9.6 GHz (CSK2)	5.3 GHz (ERS-2)
	9.6 GHz (CSK3)	5.331 GHz (ENVISAT)
Doppler Centroid at the Scene Centre	620 Hz (CSK2)	1525 Hz (ERS-2)
	-173 Hz (CSK3)	159 Hz (ENVISAT)
Incidence Angle at the Scene Centre (Master)	48.1°	22.8°
Slant Range to the Scene Centre (Master)	891.9 km	847.6 km
Slant Range Pixel Spacing (Master)	1.63 m	7.80 m
Azimuth Pixel Spacing (Master)	2.21 m	4.05 m
Number of Looks (Range by Azimuth)	9 by 9	1 by 5

료를 내삽하여 추정하였으며, 인천검조소 검조자료를 기준으로 계산하였다. 이 때 연구지역에 해당하는 조위를 얻기 위해서 연구지역과 인천검조소의 위치 차이에 의해 발생하는 조차를 보정하였다. 보정방법은 식 (3)과 같으며, 개정수인 조시차와 조고비 그리고 평균해면은 국립해양조사원의 조석표를 참고하였다. 연구지역에 해당하는 개정수와 평균해면값은 지리적으로 가까운 영종도 지역의 값을 이용하였다.

$$\begin{aligned} \text{연구지역의 조위} = \\ [\text{표준항(인천)의 조위} - \text{표준항(인천)의 평균해면}] \quad (3) \\ \times \text{조고비} + \text{연구지역의 평균해면} \end{aligned}$$

두 영상간의 도플러 중심주파수의 차이는 793 Hz이나 Cosmo-SkyMed의 유효밴드폭인 약 2600 Hz에 비교할 때 70%의 중첩되는 밴드폭을 가지므로 긴밀도 저하에 미치는 영향이 적다. 간섭도 제작은 일반적인 간섭도 처리과정을 통해 이루어졌으며, 멀티룩 처리를 통해 위상노이즈를 감소시키고, 후처리 필터링은 적용하지 않았다.

2) 이중 센서를 이용한 교차 간섭기술

교차 간섭기술은 서로 재원이 다른 ERS-2, ENVISAT 위성의 자료를 이용하여 간섭기술을 적용한다. 두 센서의 관측중심주파수 차이는 31 MHz이고 약 0.4°의 입사각 차이를 가지며, 이로 인하여 교차 간섭쌍에서 추가적인 위상(range spectral shift)이 발생하여 일반적인 수

직기선조건에서는 유효한 간섭위상이 관측되지 않는다. 그러나 2 km 내외의 긴 수직기선조건에서는 관측중심주파수의 차이로 인한 추가발생 위상이 상쇄되며, 이로 인해 매우 높은 고도민감도를 갖는 간섭영상의 생성이 가능하게 되었다(Adam, 2003). 교차 간섭기술을 적용하기 위한 기본 조건인 2 km 내외의 수직기선조건을 충족시키기 위해 ESA에서는 세 번에 걸쳐 ERS-2의 관측궤도를 ENVISAT 관측궤도 근처로 옮기는 미션을 수행하였으며, 비록 이 기간 중에 주요 관측지역에 한반도가 포함되지는 않았으나, 극소수의 간섭쌍을 획득할 수 있었다. 교차 간섭기술은 이론적으로 충분한 이점이 있으나 실제 적용에 있어 ERS-2의 자세제어 센서 고장으로 인해 발생하는 도플러 중심주파수의 불안정성은 유효한 간섭쌍의 수를 제한시킨다. 이에 미션기간 중 한반도 서해안을 관측한 자료 전체에서 2009년 2월 6일에 획득된 오직 한 쌍만이 교차 간섭기술 적용에 유효한 조건을 갖추고 있었으며, 이 연구에서는 이 간섭쌍을 이용하여 조간대 지형도 제작을 실험하였고, 주요 영상 파라미터는 Table 1와 같다. 식 (1), (2)를 통해 계산되는 고도오차는 range 샘플링 간격인 20 m를 기준으로 할 경우 (range 1-look, azimuth 5-look), 긴밀도 0.5에서는 26 cm, 긴밀도 0.7에서는 18 cm로 Cosmo-SkyMed의 경우보다 더욱 조간대의 지형도를 작성하기에 좋은 조건이다. 그러나 영상 취득시의 추정 조위는 ERS-2, ENVISAT에서 각각 약 534 cm, 480 cm로 조간대의

저지대는 노출되지 않았다. 자료는 원시신호(Level 0, RAW)의 형태로 취득되었으며, GAMMA(www.gamma-rs.ch)의 SAR 프로세서를 통해 영상화하였다. 두 자료의 도플러 중심주파수 차이가 매우 크기 때문에 우선 영상화 과정에서 두 영상의 평균 도플러 중심주파수를 기준으로 식 (4)와 같이 제한된 도플러 밴드폭 Δf_{dop} 만을 사용하여 각각을 영상화 함으로써 common band filtering을 수행하는 동시에 look-vector의 차이에 의한 geometric decorrelation을 최소화 하였다.

$$\Delta f_{dop} = |(f_{dc,ERS-2} - f_{dc,ENVISAT}) \left(\frac{PRF_{ERS-2} + PRF_{ENVISAT}}{2} \right)| \quad (4)$$

여기서 f_{dc} 는 각 자료의 본래의 도플러 중심주파수이며, PRF는 펄스반복주파수(Pulse Repetition Frequency)이다. 간섭도 제작을 위한 상호정합 과정에서는 두 센서의 pixel spacing이 다르기 때문에(Table 1 참조) search window를 크게 하여 두 영상의 대략의 scaling factor를 구하는 coarse co-registration과 작은 window로 많은 패치의 평균 offset을 구하는 fine co-registration의 두 단계를 거치거나, 또는 미리 pixel spacing의 비율을 고려하여 계산된 offset polynomial로부터 상호정합을 수행해야 한다(Hanssen, 2001). 또한 부영상 재배열(slave image resampling) 후 간섭위상을 계산할 때 두 센서의 재원 차이에 의해 발생하는 range spectral shift와 수직기선을 고려한 range common band filtering이 필수적이다(Santoro *et al.*, 2007). 이 두 과정을 제외한다면 지는 단일센서를 이용한 간섭도 처리방법과 동일하며,

멀티룩 처리를 통해 위상노이즈를 감소시켰다. ERS-ENVISAT의 경우는 azimuth common bandwidth가 좁기 때문에 상대적으로 간섭긴밀도가 떨어지므로, 후처리 필터링을 적용하였다.

4. 실험 결과 및 토의

관측주기 1일로 얻어진 Cosmo-SkyMed 간섭도는 조간대 전반에 걸쳐 0.8 이상의 높은 긴밀도를 보이며(Fig. 2a), 496 m의 상대적으로 긴 수직기선조건 덕분에 20.9 m에 해당하는 고도민감도를 갖는다. Fig. 2(b)에서 조간대 전반에 걸쳐 간섭위상이 실제 지형기복을 반영하는 경향을 보이나 곳곳에서 지형기복과는 별개로 강한 지역적 위상지연 효과가 나타나며, 강화도 서남단 조간대를 기준으로 이 위상지연 효과로 인한 고도 측정 오차는 간섭무늬 패턴의 약 1/3, 즉, 약 7 m에 이르는 것으로 보인다. 실제 조간대는 큰 수로를 제외하면 대체로 기복이 없이 평평하므로 이는 대체로 간섭쌍을 이루는 두 영상에서 각각 대기층의 분포가 다르기 때문에 발생하는 효과에 기인한다. 또한 갯벌 표면은 노출시간에 따라 표층의 함수율이 지속적으로 변하며, 이 또한 추가적인 위상 지연 효과를 발생시키기 때문에 관측간격이 조석주기보다 길어질 경우 지형정보와의 분리가 어렵다.

관측시간간격 30분으로 얻어진 ERS-ENVISAT 간섭도는 비록 높은 조위로 인해 조간대의 노출 지역은 넓지는 않으나 노출된 지역은 후처리 필터링의 적용 후

Fig. 2. Results of Cosmo-SkyMed 1-day tandem interferometry for intertidal DEM construction. (a) Although the interferometric coherences over tidal flat are very high (> 0.8), (b) the observed phases suffer from strong atmospheric artifacts and the change of soil moisture. One fringe represents a height change of 20.9 m.

Fig. 3. Results of ERS-ENVISAT 30-minute cross tandem interferometry for intertidal DEM construction. Although the common Doppler bandwidth is small compared to PRF, (a) the interferometric coherences over tidal flat are high (> 0.6) after applying post-filtering and (b) the observed phases represent clearly the gentle topography of tidal flats because most of the atmospheric signals are cancelled out. One fringe represents a height change of 4.2 m.

Fig. 4. TerraSAR-X intensity images over Ganghwa tidal flat at high tides. (a) While there are still exposed surfaces at the tide level of 756 cm, (b) the study area is completely covered by sea water before the tide rises up to 806 cm.

0.7 이상의 긴밀도를 보이며(Fig. 3a), 2182 m의 매우 긴 수직기선으로 인해 약 4.2 m에 해당하는 고도민감도를 갖는다. 또한 밀물 때에 촬영된 영상으로 썰물 때의 영상에 비해 상대적으로 조간대의 건조시간이 길어 표면 잔존수의 영향이 적다. 간섭위상도(Fig. 3b)는 Cosmo-SkyMed의 경우와 달리 지역적 위상지연 효과는 관측되지 않고 조간대의 고도분포에 따른 위상변화가 잘 나타난다. 이는 30분의 관측시간간격에서는 대기층의 분포와 표층 함수율의 변화가 미미하기 때문에 이들에 의한 위상지연효과가 서로 상쇄되기 때문으로 추정된다. 조수간만의 차가 큰 서해안 지역에서는 30분 차이로도 노출면적이 달라지며, 간섭쌍을 이루는 두 영상 중 보다 조위가 높았던 영상의 노출부위부터 유효한 위상관측 값을 가진다. 따라서 이 간섭도에서 관측 가능

한 고도범위는 ERS-2 영상 획득시의 조위인 약 534 cm부터 조간대의 최고점까지가 된다. 조간대의 최고점에 대한 고도정보가 없기 때문에 이를 추정하기 위하여 TerraSAR-X 영상과 비교하였다. Fig. 4는 TerraSAR-X 영상으로, 각각 약 756 cm, 806 cm 조위에서 관측된 자료이다. TerraSAR-X 영상에서 806 cm 조위일 때 조간대 전체가 물에 잠기는 것으로 보아 최고점의 고도는 806 cm 이하이며, 따라서 ERS-ENVISAT 간섭쌍에서 관측된 영역의 고도분포범위는 최대 272 cm 정도로 추정할 수 있다. 간섭도를 통해 측정된 고도와 비교를 위해 조간대가 잘 드러난 지역(Fig. 5)에서 두 개의 측선을 따라 간섭위상과 긴밀도를 추출하였다. 노출된 조간대는 대체로 긴밀도 0.5 이상을 보이며, 이 구간을 경계로 조간대 내의 간섭위상 변화는 측선 (a)에서 약

Fig. 5. Profiles of interferometric coherence and phase along (a) and (b) in the top figure.

4.0 radian, 측선 (b)에서 약 4.2 radian으로 이는 각각 267 cm, 280 cm의 고도변화를 나타낸다.

5. 결론

한반도 연안지형의 변화를 모니터링 하기 위해서는 정밀한 고도자료가 필수적이다. 그러나 레이더 간섭기

술을 이용하여 조간대 지형도를 제작하기 위해서는 짧은 관측주기와 긴 수직기선이 필요하며, 이는 단일위성을 이용한 repeat-pass 간섭쌍으로는 충족되기 어려운 조건이다. 따라서 이 연구에서는 Cosmo-SkyMed의 1일 간격 관측자료와 ERS2-ENVISAT 30분 간격 관측 자료를 사용하였다. 동일한 재원의 위성 4기가 운용중인 Cosmo-SkyMed는 다수의 영상으로부터 긴 기선조건의 간섭쌍을 선별적으로 사용할 수 있고, 짧은 관측

주기 덕분에 조간대에서도 충분한 긴밀도를 얻을 수 있으나, 대기층의 분포 및 표층 함수를 변화에 의한 위상 지연 효과가 발생하여 정확한 지형고도 획득이 어렵다. 반면 이중센서를 이용하는 ERS2-ENVISAT 교차간섭 기술의 경우 30분의 짧은 관측 시간차이 덕분에 외부조건에 의한 위상지연효과가 상쇄되며, 매우 긴 수직기선으로 인한 높은 고도민감도로 조간대 지역의 정보를 획득할 수 있었다. 이와 같은 결과는 단일 위성 자료의 레이다 간섭기술로는 기대하기 힘든 매우 세밀한 측정치로서 연안지역의 고도자료 획득에는 현재까지 ERS2-ENVISAT 교차간섭기술이 가장 효과적이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 소관 연구개발사업인 “정지궤도 해양위성(GOCI) 활용연구 지원”의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 국립공원관리공단, 1998. 태안해안국립공원의 해안습지 및 비교대상지 조사.
- 한국해양연구원, 1998. 갯벌의 효율적인 이용과 보존을 위한 연구.
- Adam, N., 2003, First cross interferogram using the radar sensors ENVISAT/ASAR and ERS-2,

online at http://www.dlr.de/caf/aktuelles/archiv/bilderarchiv/envisat/cross_interferogram.

- Guarnieri, A.M. and C. Prati, 2000. ERS-ENVISAT combination for interferometry and super-resolution, *ERS-ENVISAT Symposium*, Gothenburg, Sweden, 16-20, Oct. 2000.
- Hanssen, R.F., 2001. *Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis*, Kluwer Academic, ISBN 9780792369455.
- Ryu, J.-H., J.-S. Won, and K.-D. Min, 2002. Waterline extraction from Landsat TM data in tidal flat: A case study in the Gomso Bay, Korea, *Remote Sensing of Environment*, 83(3): 442-456.
- Santoro, M., J.I.H. Askne, U. Wegmüller, and C.L. Werner, 2007. Observations, Modeling, and Applications of ERS-ENVISAT Coherence Over Land Surfaces, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 45(8): 2600-2611.
- White, S. and Y. Wang, 2002. Laser altimetry for the investigation of change in the North Carolina coastline, *7th International Conference Remote Sensing for Marine and Coastal Environments*, Miami, Florida, USA, 20-22 May 2002, CD-ROM version.
- Wimmer, C., R. Siegmund, M. Schwabisch, and J. Moreira, 2000. Generation of high precision DEMs of the Wadden Sea with airborne interferometric SAR, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 38(5): 2234-2245.