공간해상도에 따른 위성 영상레이더 위상간섭기법 긴밀도 분석

홍상훈*[†] · Shimon Wdowinski**

* 한국항공우주연구원 위성정보연구센터, ** 마이애미대학 로젠스티얼 해양대기과학대학

Interferometric coherence analysis using space-borne synthetic aperture radar with respect to spatial resolution

Sang-Hoon Hong* and Shimon Wdowinski**

* Satellite Information Research Center, Korea Aerospace Research Institute,

** Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami

Abstract : Recently high spatial resolution space-borne Synthetic Aperture Radar (SAR) systems have launched and have been operated successfully. Interferometric SAR (InSAR) processing with the space-based high resolution observations acquired by these systems can provide more detail information for various geodetic applications. Coherence is regarded as a critical parameter in the evaluating the quality of an InSAR pair. In this study, we evaluate the coherence characteristics of high-resolution data acquired by TerraSAR-X (X-band) and ALOS PALSAR (L-band) and intermediate-resolution data acquired by Envisat ASAR (C-band) over western Texas, U.S.A. Our coherence analysis reveals that the high-resolution X-band TSX (3.1 cm) data has a high coherence level (0.3-0.6), similar to that of the L-band ALOS PALSAR data (23.5 cm) in short temporal baselines. Further more, the TSX coherence values are significantly higher than those of the C-band (5.6 cm) Envisat ASAR data. The higher coherence of the TSX dataset is a surprising result, because common scattering theories suggest that the longer wavelength SAR data maintain better coherence. In vegetated areas the shorter wavelength radar pulse interacts mostly with upper sections of the vegetation and, hence, does not provide good correlation over time in InSAR pairs. Thus, we suggest that the higher coherence values of the TSX data reflect the data's high-resolution, in which stable and coherent scatters are better maintained. Although, however, the TSX data show a very good coherence with short temporal baseline (11-33 days), the coherences are significantly degraded as the temporal baselines are increased. This result confirms previous studies showing that the coherence has a strong dependency on the temporal baseline.

Key Words : InSAR, coherence, decorrelation, multi-wavelength, spatial resolution

요약 : 최근 고해상도 영상레이더를 탑재한 위성이 성공적으로 발사, 운용되고 있다. 이들 위성에서 획득

접수일(2013년 8월 7일), 수정일(1차 : 2013년 8월 20일), 게재확정일(2013년 8월 21일).

[†] 교신저자: 홍상훈(shong@kari.re.kr)

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

된 자료를 이용한 위상간섭기법의 활용은 다양한 지구과학적 분야에서 보다 자세한 정보를 제공하고 있다. 위상간섭기법 적용에서 긴밀도는 영상레이더 자료로부터 생성된 위상간섭도 질을 평가하는 매우 중요한 요소이다. 본 연구에서는 미국 서부 텍사스에 위치한 엘파소 지역에 대한 고해상도 X-밴드 TerraSAR-X (TSX), L-밴드 ALOS PALSAR와 중해상도 C-밴드 Envisat ASAR 위성 영상레이더 자료의 긴밀도 특성을 분석 평가하고자 한다. 짧은 시간기선거리(temporal baseline) 조건에서 X-밴드 TSX 자료의 긴밀도는 0.3~0.6으로 L-밴드 ALOS PALSAR 자료와 유사한 정도의 높은 긴밀도를 나타내었다. 이 수치는 C-밴드 Envisat ASAR 자료에 비해서는 상당히 높은 것이며 영상레이더 신호의 파장이 길수록 위상간섭도의 긴밀도 유지에 있어 보다 유리하다는 일반적인 산란 이론을 고려해 볼 때 의미있는 결과라 할 수 있다. TSX 자료가 높은 긴밀도를 갖는 이유는 안정적인 산란 특성을 잘 반영할 수 있는 높은 공간 해상력이 하나의 원인일 것으로 추정된다. 하지만 11~33일 정도의 짧은 시간기선거리에서는 비교적 높은 긴밀도를 유지하는 반면에 시간기선거리가 다소 길어질 경우 긴밀도가 크게 저하된다. 본 연구 결과를 통해 긴밀도가 시간기선거리와 매우 밀접한 관계에 있음을 확인할 수 있었다.

1. 서론

위상간섭기법(SAR Interferometry)은 두 영상레이더 자료 사이의 위상차를 이용하여 지표면의 3차원 정보를 획득할 수 있는 기술이다. 위상간섭기법을 이용하여 지표면에 대한 고도 정보를 추출하거나(Rogers and Ingals, 1969; Graham, 1974; Zebker *et al.*, 1994), 지표변위에 의한 미세 변위를 수 mm~수 cm의 정밀도로 측정할 수 있다(Gabriel *et al.*, 1989). 다양한 파장 대역을 가진 위성 영상레이더 자료가 이용 가능함에 따라 지진 및 화산, 지반 침하, 빙하 이동 감시, 습지대 수위 변화 탐지 등의 다양한 지구과학 연구를 위한 위상간섭기법 활용 연구가 활발히 수행되고 있다(Hanssen, 2001). 우리나라에서도 다양한 환경에 대한 위상간섭기법에 대한 연구가 활발히 진행 중이다(Cho *et al.*, 2013; Park *et al.*, 2012; Han and Lee, 2011). 특히 3.1 cm의 짧은 파장을 갖는 X-밴드 영상레이더의 경우 이전의 C-밴드나 L-밴드의 긴 파장 영상보다 높은 공간해상력을 가진 진폭(amplitude)영상 뿐만 아니라 위상간섭도를 제공하여 보다 자세한 정보를 얻을 수 있다.

영상레이더 위상간섭도(interferogram) 제작에 있어 두 자료 사이의 decorrelation의 정도를 나타내는 것을 긴밀도(coherence)라 하며 이는 위상간섭도의 질을 평가하는 매우 중요한 기준이 된다. 일반적인 마이크로파 신호의 산란 특성에 따르면 X-밴드(TerraSAR-X(TSX)의 경우 3.1 cm)와 같은 짧은 파장 신호인 경우는 L-밴드(ALOS PALSAR의 경우 23 cm)와 같은 긴 파장보다 식생 등의

지표면 변화에 대해 민감하게 반응한다고 알려져 있다. 이는 L-밴드 영상레이더에 비해 X-밴드 영상레이더를 이용할 경우 좋은 긴밀도를 유지하기 어려울 가능성이 많음을 의미한다. 따라서 X-밴드 영상레이더 자료는 실제 위상간섭기법 적용에 있어 C-밴드나 L-밴드와 같은 보다 긴 파장의 영상레이더 자료에 비해 다소 제한적일 것이라고 평가되었다. 하지만 최근 X-밴드 TSX 영상레이더 위상간섭기법을 이용한 습지대 활용 연구 결과에서와 같이 일정 시간 내에 관측된 자료 사이에서 0.35 이상의 상당히 높은 긴밀도가 유지됨을 알 수 있었다(Hong *et al.*, 2010). 특히 식생이 분포되어 있는 습지대의 경우 짧은 파장의 신호는 대부분 식생의 상단 부분과 상호 작용하여 산란 작용을 일으키므로 긴밀도 유지가 어려울 것이라 추정되었다. 따라서 이러한 식생 분포 습지대지역에서의 높은 긴밀도 유지는 매우 놀라운 결과라 할 수 있다. 이는 비록 TSX 위성 영상이 X-밴드의 짧은 파장이지만 실제 위성정보에서는 예측했던 것보다 더 긴밀하고 안정적인 산란체의 위상 정보를 포함할 수 있다는 것을 암시한다.

본 연구에서는 X-밴드 자료가 예상보다 높은 긴밀도를 갖는 원인을 다른 파장 자료에 비해 뛰어난 고해상도 공간해상도와 관련이 있을 것이라 추정하였다. 따라서 공간해상도와 긴밀도 사이의 관계를 알아보기 위해 각각 다른 파장과 공간해상도를 갖는 영상레이더 자료를 이용하여 긴밀도를 계산 후 통계 비교 분석을 실시하였다. 연구 지역은 지표 변화에 대한 효과를 최소한으로 줄이기 위해 매우 건조한 지역 중 하나인 미국 서부 텍사스에

위치한 엘파소(El Paso) 인근 지역으로 설정하였다.

2. 긴밀도

영상레이더 위상간섭도의 질을 평가하는 기준인 긴밀도는 다음과 식과 같이 표현된다(Papoulis, 1991).

$$\gamma = \frac{E\{y_1 y_2^*\}}{\sqrt{E\{|y_1|^2\}E\{|y_2|^2\}}}, 0 \leq \gamma \leq 1 \quad (1)$$

위상간섭도의 긴밀도는 지표면 관측 시점의 위성과의 지표면 상에 존재하는 산란체 사이의 여러 가지 조건에 의해 영향을 받게 되며 이러한 원인을 decorrelation이라 한다. 다음은 decorrelation 요소를 정리한 것이다(Zebker and Villasenor, 1992).

$$\gamma_{\text{tot}} = \gamma_{\text{geom}} \times \gamma_{\text{DC}} \times \gamma_{\text{vol}} \times \gamma_{\text{thermal}} \times \gamma_{\text{temporal}} \times \gamma_{\text{processing}} \quad (2)$$

긴밀도의 전체 총량 γ_{tot} 을 6개의 항목으로 구분하였으며 γ_{geom} 는 두 위성 사이의 공간기선거리(geometric baseline)에 의한 decorrelation, γ_{DC} 는 두 영상 자료간의 도플러 중심 주파수(Doppler centroid frequency) 차이에 의한 decorrelation, γ_{vol} 은 전자기파가 산란체를 투과하였을 때의 굴절 현상에 의하여 위상의 변화가 일어남으로써 긴밀도의 저하를 가져오는 것을 의미한다. γ_{thermal} 은 thermal decorrelation을 나타내며, γ_{temporal} 은 두 영상을 획득할 당시 시간차이로 인한 지표면의 산란 위치 및 특성 변화에 따른 decorrelation효과를 말한다. $\gamma_{\text{processing}}$ 은 위상간섭처리 과정 중에 발생할 수 있는 원인으로써 정합 오차에 의한 것, 보간 방법에 의한 것, 위성 궤도 위치의 오차에 의한 것 등에서 발견될 수 있다. 본 연구에서는 γ_{geom} 과 γ_{temporal} 의 두 가지 decorrelation 요인 이외에 나머지 원인에 의한 긴밀도 저하는 무시 가능하거나 각 위상간섭도의 긴밀도의 decorrelation 정도가 유사하다는 가정하에 분석을 실시하였다.

3. 연구 지역

본 연구에서는 긴밀도 평가 분석을 위해 미국 서부 텍사스 주에 위치한 엘파소지역을 선정하였다(Fig. 1). 엘파소는 미국과 멕시코 사이접경 도시로서 표고 1,100 m

Fig. 1. The Landsat-7 ETM+ optic color composite image of the study area (<http://www.landcover.org/data/landsat/>). The color polygons represent the swath of TerraSAR-X, ENVISAT ASAR, and ALOS PALSAR satellites.

의 고원지대에 위치한다. 태양의 도시(The Sun City)라는 별명을 가질 만큼 매우 건조한 기후를 보이는 곳이다. 연중 평균 맑은 날씨를 보이는 날은 302일에 달하며 연강수량은 218 mm에 불과하다. 위상간섭도에서의 긴밀도는 앞 절에서 언급한 바와 같이 시간 경과에 따른 지표면 변화와 관련된 temporal decorrelation에 많은 영향을 받는다. 엘파소와 같이 건조한 지역은 활엽수 등의 식생이 분포하는 지역보다 시간 경과에 따른 지표면의 변화가 상대적으로 적으므로 temporal decorrelation효과가 적을 것으로 예상된다. 따라서 긴밀도 비교 분석 연구에 있어 상대적으로 유리한 지역이라 할 수 있다.

4. 연구 자료 및 방법

1) 연구자료

연구지역인 엘파소를 관측한 X-밴드 TSX, C-밴드 Envisat ASAR, 그리고 L-밴드 ALOS PALSAR의 세 종류 위성 영상레이더 자료를 수집하였다. TSX 자료는 총 12장이 수집되었으며 2009년 12월 28일부터 2010년 5월 9일 사이의 기간에 획득된 자료이다. TSX 자료의 수직 공간기선거리(absolute perpendicular baseline)는 약 3~345 m이며 시간 기선거리는 11~132일의 분포를 보인다

Table 1. List of Synthetic Aperture Radar (SAR) dataset over the study area and its parameters

No.	TerraSAR-X (X-band)			ENVISAT ASAR (C-band)			ALOS PALSAR (L-band)		
	Date	Btemp(day)	Bperp(m)	Date	Btemp(day)	Bperp(m)	Date	Btemp(day)	Bperp(m)
1	28/Dec/09	0	0	15/May/09	0	0	14/Jan/08	0	0
2	08/Jan/10	11	112	19/Jun/09	35	-225	15/Apr/08	92	830
3	19/Jan/10	22	171	24/Jul/09	70	188	31/May/08	138	612
4	30/Jan/10	33	195	28/Aug/09	105	261	16/Jul/08	184	-1941
5	21/Feb/10	55	45	02/Oct/09	140	-312	16/Jan/09	368	-2527
6	04/Mar/10	66	106	06/Nov/09	175	116	19/Jan/10	736	-867
7	15/Mar/10	77	168	11/Dec/09	210	-140	21/Apr/10	828	-254
8	26/Mar/10	88	-33	15/Jan/10	245	32			
9	06/Apr/10	99	66	19/Feb/10	280	-105			
10	17/Apr/10	110	312	26/Mar/10	315	158			
11	28/Apr/10	121	308	30/Apr/10	350	-69			
12	09/May/10	132	86						

다(Table 1). 3~345 m의 공간기선거리는 가능한 모든 위상간섭쌍에서의 값을 의미한다. 또한 2009년 5월 15일부터 2010년 4월 30일 사이에 얻어진 총 11장의 Envisat ASAR 영상의 시간 기선거리는 35 ~ 350일이며 약 18 ~ 573 m의 수직 공간기선거리를 갖는다(Table 1). 마지막으로 ALOS PALSAR 자료는 2008년 1월 14일부터 2010년 4월 21일까지 총 7장이 수집되었으며 시간기선거리와 수직기선거리는 각각 92~828일, 약 218 ~ 3357 m이다. TSX 영상의 경우와 마찬가지로 Envisat ASAR 및 ALOS PALSAR의 공간기선거리는 모든 위상간섭쌍에 대해 계산 가능한 수치이다. TSX의 영상 자료의 경우 350 m 이하의 짧은 수직 공간기선거리를 갖는 것으로 보아 위상간섭기법에 유용한 궤도 제어가 잘 이루어지고 있음을 확인할 수 있다. 취득된 TSX, ALOS PALSAR 및 Envisat ASAR SLC 영상의 공간해상도는 각각 약 2 m², 15 m², 32 m²이며 이는 range 방향의 spatial pixel resolution과 azimuth pixel resolution의 곱으로 계산되었다.

2) 연구방법

긴밀도 영상 제작을 위해 Repeat Orbit Interferometry PACKage(ROI-PAC) 소프트웨어(Buckley *et al.*, 2000)를 이용하여 수집된 TSX, Envisat ASAR, ALOS PALSAR 영상에 대한 가능한 모든 조합의 위상간섭도와 긴밀도를 제작하였다. 긴밀도는 5×5 크기의 SLC 영상의 소창문(sub-window)을 이용하여 계산되었다. 지형에 대한 위상제거와 정보보정 수행을 위하여 약 90 m 간격의 SRTM

DEM이 사용되었다(Jordan *et al.*, 1996). 위상간섭도 계산시 세 위성영상 모두 동일한 크기의 멀티룩 계수와 위상 필터링이 수행되었다. 위상간섭기법을 적용하여 TSX 영상의 경우 총 66개의 위상간섭도를, Envisat ASAR 영상은 모두 55개의 위상간섭도를 제작하였다. 또한 21개의 ALOS PALSAR 위상간섭도를 제작할 수 있었다. 제작된 위상간섭도를 이용하여 동일한 갯수의 긴밀도 영상을 얻을 수 있었으며 긴밀도 비교 분석을 위한 통계 계산을 실시하였다. 긴밀도 통계 계산은 세 영상 취득 영역이 중복되는 부분과 지역적 지표 특성을 고려한 농지, 나대지, 산림지, 도심지의 네 개의 지역을 설정하여 통계 분석을 실시하였다. Fig. 1은 세 가지 영상레이더 자료의 관측 영역 및 설정된 관심지역을 도시한 것이다.

5. 연구결과

X-밴드 TSX 자료에 대한 계산된 긴밀도 영상을 Fig. 2에 도시하였다. Fig. 2(a)는 연구 지역에 대한 평균 진폭 영상을 도시한 것이며, Fig. 2(b-f)는 각각 11~66일의 시간기선거리를 갖는 긴밀도를 도시한 것이다. 시간기선거리가 짧을수록 높은 긴밀도를 보여주고 있으며 이는 temporal decorrelation의 영향을 반영한 것이라 할 수 있다. 55~66일 사이의 영상에서 긴밀도의 급격한 저하가 나타나고 있긴 하지만 건조 기후를 보이는 지역적 특색으로 인하여 다른 지역에 비해 좋은 긴밀도가 유지되는

Fig. 2. (a) TSX average amplitude image of study area, El Paso of western Texas, U.S.A. and (b-f) the coherence maps in a time series of TSX interferometric pairs with temporal baseline from 11 days to 66 days, and with perpendicular baseline from 45 m to 195 m.

경우라 판단된다. 계산된 위성 영상레이더 위상간섭도에 대한 긴밀도 영상의 평균값을 추정한 후 각 위성에 대한 비교 분석도를 도시하였다(Fig. 3). 모두 4개의 세부 관심 지역과 중복 관측 지역에 대한 긴밀도를 도시하였다. L-밴드 ALOS PALSAR 영상에 대한 값은 적색 점으로, C-밴드 Envisat ASAR 영상에 대한 긴밀도는 녹색으로 표시하였으며 X-밴드 TSX 자료의 경우는 청색으로 도시하였다. Fig. 3에서 좌측은 절대 공간기선거리에 대한 긴밀도의 분포를 도시한 것이며, 우측 그림은 시간기선거리에 대한 긴밀도를 나타낸 것이다.

Fig. 3(a-b)는 세 위성 영상이 모두 포함되는 중복 관측 지역에 대한 긴밀도를 나타낸 것으로 ALOS PALSAR 영상이 거의 모든 공간기선거리 범위에서 TSX 및 Envisat ASAR 영상에 비해 높은 긴밀도를 유지하고 있었다. 특히 3 km이상의 공간기선거리에서도 0.3 이상의 높은 긴

밀도가 유지되고 있음은 주목할 만한 결과이다. ALOS PALSAR 영상은 사용된 자료 중 가장 긴 파장을 갖는 L-밴드(23 cm) 자료이므로 다른 두 위성영상에 비해 높은 긴밀도를 유지할 수 있다는 것은 예측 가능한 일이다. 일반적인 마이크로파 파장 대역에 따른 산란 특성에 비추어 볼 때, 3.1 cm 파장을 갖는 TSX 영상에 비해 긴 5.6 cm 파장을 갖는 Envisat ASAR 영상의 긴밀도가 높게 유지될 것으로 예상되었다. 하지만 Fig. 3(a)에서와 같이 TSX 영상의 긴밀도가 Envisat ASAR 영상에 비해 다소 높은 긴밀도를 나타내고 있다. 이러한 현상은 시간기선거리와의 관계를 도시한 Fig. 3(b)를 통해서도 확인할 수 있다. 공간기선거리의 경우와 마찬가지로 L-밴드 ALOS PALSAR 영상은 다른 파장 대역의 영상에 비해 높은 긴밀도를 유지하고 있다. Envisat ASAR 영상의 경우 일부 몇몇 경우에서 TSX 영상보다 높은 긴밀도를 보여주지

Fig. 3. The L-band ALOS PALSAR data maintain the best coherence in overall areas, and the X-band TerraSAR-X data show better coherence in the most cases. It is very interesting result that the short wavelength like the X-band can maintain better coherence than the C-band data.

Fig. 4. The L-band ALOS PALSAR data maintain the best coherence in overall areas, and the X-band TSX data show better coherence in the most cases. It is very interesting result that the short wavelength like the X-band can maintain better coherence than the C-band data.

만 전체적으로 TSX 영상의 긴밀도가 보다 우세하게 나타난다. Temporal decorrelation 효과로 인한 긴밀도 저하는 세 위성 영상에서 모두 확인할 수 있었다.

세 가지 파장을 갖는 위성 영상에 대한 긴밀도 특성은 네 개의 세부 관심 지역의 결과에서도 확인 가능하다 (Fig. 3(c-j)). Fig. 3(a-b)의 경우와 마찬가지로 네 지역 모두에서 ALOS PALSAR 영상의 긴밀도가 가장 우세하게 나타나고 있다. 또한 TSX 영상의 긴밀도가 Envisat ASAR 영상의 긴밀도보다 다소 높은 값을 보였다. 이러한 경향성은 농지 및 도심지 지역에서 보다 명확하게 확인할 수 있었다 (Fig. 3(c-d), 3(i-j)). 산림 지역은 시간 변화에 따른 지표면의 산란 특성 변화가 심하므로 다른 지역에 비해 긴밀도의 분산도가 높게 나타났다 (Fig. 3(h)). 긴밀도 분석도를 통해 산림지 및 도심지에서는 공간기선거리와의 상관관계가, 농지 및 내대지에서는 시간기선거리와의 상관관계가 좀 더 큰 것으로 나타났다.

Fig. 4는 공간기선거리 및 시간기선거리에 대한 각 위성 영상의 긴밀도를 도시한 것이다. ALOS PALSAR와 TSX 영상은 거의 모든 위상간섭도에서 0.3이상의 보다 높은 긴밀도를 보이는 반면에 Envisat ASAR의 경우 다수의 경우에서 0.3 이하의 긴밀도가 관측되었다. Fig. 3과 4의 결과를 종합해 볼 때, L-밴드 장파장 대역을 갖는 ALOS PALSAR 위성 영상이 대체적으로 가장 좋은 긴밀도를 유지하고 있었다. 이러한 결과의 원인은 temporal decorrelation에 상대적으로 영향을 적게 받아 높은 긴밀도를 유지할 수 있었던 것으로 판단된다. 하지만 X-밴드 TSX 영상이 짧은 파장 대역을 이용함에도 불구하고 Envisat ASAR 보다 좋은 긴밀도를 나타내는 이유는 TSX

Fig. 5. Coherence versus spatial resolution (pixel spacing) of ALOSPALSAR (L-band, 23.5 cm), Envisat ASAR (C-band, 5.6cm), and TSX (X-band, 3.1cm) data. The coherence is calculated with 5x5 pixel window size. The TSXinterferograms which have the highest spatial resolution show the best coherences, and the next highestcoherences can be shown in ALOS PALSAR interferograms. Although the wavelength of Envisat ASAR is longer than that of the TSX data, lower coherence of EnvisatASAR can be found.

의 높은 공간해상능력이 하나의 원인이 될 수 있다고 추정해 볼 수 있다.

Fig. 5는 공간해상도에 대한 계산된 모든 위상간섭도에 대한 긴밀도를 도시한 것이다.공간해상도에 대한 긴밀도 분석에서 TSX 위상간섭도의 긴밀도가 가장 높은 값을 나타냈으며, ALOS PALSAR의 긴밀도가 다음으로 높은 긴밀도 분포를 보였다. 공간해상도에 대한 긴밀도 도시를 통해 위상간섭기법 적용에 있어 높은 공간해상

도가 높은 긴밀도 유지의 한 원인이 될 수 있을 것이라 추정된다.

6. 결론

본 연구에서는 다중파장 영상레이더 자료를 이용한 위상간섭기법에서의 긴밀도 변화를 분석하였다. 일반적으로 통용되는 마이크로파 신호의 산란특성 이론에 따르면 영상레이더 신호의 파장이 길면 길수록 temporal decorrelation에 대한 영향이 적어 위상간섭기법에 상대적으로 유리한 것으로 알려져 있었다. 따라서 X-밴드 신호와 같은 짧은 파장의 영상레이더 신호는 temporal decorrelation 효과로 인하여 위상간섭기법 적용에 있어 다소 제한적인 것으로 예상되었다. 하지만 본 연구를 통해 제한된 시간기선거리내에서 X-밴드 영상레이더 자료도 매우 높은 긴밀도를 유지할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 하지만 대부분의 일정 시간이 지난 후에는 긴밀도가 급격히 저하될 것으로 판단된다.

미국 서부 텍사스에 위치한 엘파소 지역에 대한 ALOS PALSAR, Envisat ASAR, TSX 세 종류의 영상에 대한 긴밀도 분석 결과 temporal decorrelation 효과가 가장 적을 것으로 예상된 L-밴드 ALOS PALSAR 위성 영상이 비교적 높은 긴밀도가 유지 가능함을 알 수 있었다. 하지만 지표면에 의한 마이크로파 신호 산란 특성 이론에 따른 예상과는 달리 C-밴드 Envisat ASAR 영상의 긴밀도는 X-밴드 TSX 영상의 긴밀도보다 낮은 값을 나타내었다. TSX 영상자료의 긴밀도가 보다 높은 원인은 TSX 영상이 Envisat ASAR 영상보다 좋은 공간해상도를 가지기 때문일 것이라 추정해 볼 수 있다. 그 이유는 높은 공간해상도를 갖는 영상레이더 신호가 보다 안정적인 위상 특성을 갖는 산란체에 대한 정보를 각 화소 내에 잘 보존할 수 있다는 것을 암시하기 때문이다. 공간해상도와 긴밀도와의 관계를 도식한 비교 분석에서 두 변수 사이에 일정한 상관성이 있음을 알 수 있었다.

X-밴드 TSX 영상레이더 자료가 예상과 달리 높은 긴밀도를 유지할 수 있다는 것을 알 수 있었지만 일정 시간이 지난 후에는 긴밀도의 저하를 발견할 수 있었다. 따라서 긴 시간기선거리를 갖는 위상간섭도 제작의 경우 일반적인 위상간섭기법의 응용에 있어 짧은 파장으로 인

한 temporal decorrelation 영향은 여전히 제한적인 요소인 것으로 판단된다. 하지만 높은 공간해상도를 갖는 X-밴드 영상레이더 자료에서 오랜 시간경과에도 불구하고 위상정보를 잘 유지할 수 있는 고정 산란체를 효과적으로 추출할 수 있을 것으로 판단되며 이는 고정산란체 위상간섭기법(Persistent Scatterer Interferometry: PSI) 적용에 매우 유용할 것이라 판단된다.

Reference

- Buckley, S.M., P.A. Rossen, and P. Persaud, 2000. ROI_PAC Documentation-Repeat Orbit Interferometry Package.
- Cho, M.J., L. Zhang, and C.W. Lee, 2013. Monitoring of Volcanic Activity of Augustine Volcano, Alaska Using TCPInSAR and SBAS Time-series Techniques for Measuring Surface Deformation, *Korean Journal of Remote Sensing*, 29(1): 21-34 (in Korean with English abstract).
- Gabriel, A.K., R.M. Goldstein, and H.A. Zebker, 1989. Mapping small elevation changes over large areas: Differential radar interferometry, *Journal of Geophysical Research*, 94: 855-856.
- Graham, L.C., 1974. Synthetic Interferometer Radar for Topographic Mapping, *Proceedings of IEEE*, 62(6): 763-768.
- Han, H.S., and H.Y. Lee, 2011. Analysis of Surface Displacement of Glaciers and Sea Ice Around Canisteo Peninsula, West Antarctica, by Using 4-pass DInSAR Technique, *Korean Journal of Remote Sensing*, 27(5): 535-542 (in Korean with English abstract).
- Hanssen, R.F., 2001. *Radar Interferometry: Data interpretation and error analysis*, Kluwer Academic Publishers.
- Hong, S.H., S. Wdowinski, and S.W. Kim, 2010. Evaluation of TerraSAR-X observations for wetland InSAR application, *IEEE Transactions*

- on Geoscience and Remote Sensing*, 48: 864–873.
- Jordan, R.L., E.R. Caro, Y. Kim, M. Kobrick, Y. Shen, F.V. Stuhr, and M.U. Werner, 1996. Shuttle radar topography mapper (SRTM), *Proc. SPIE* 2958, Microwave Sensing and Synthetic Aperture Radar: 412-422.
- Papoulis, A., 1991. Probability, Random variables, and stochastic processes, McGraw-Hill series in Electrical Engineering, McGraw-Hill, New York.
- Park, J.W., J.H. Choi, Y.K. Lee, and J.S. Won, 2012. Intertidal DEM Generation Using Satellite Radar Interferometry, *Korean Journal of Remote Sensing*, 28(1): 121-128 (in Korean with English abstract).
- Rogers, A.E.E. and R.P. Ingalls, 1969. Venus: Mapping the surface reflectivity by radar interferometry, *Science*, 165: 797-799.
- Zebker, H.A. and J. Villasenor, 1992. Decorrelation in interferometric radar echoes, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(5): 950-959.
- Zebker, H.A., C.L. Werner, P.A. Rogen and S. Hensley, 1994. Accuracy of topographic maps derived from ERS-1 interferometric radar, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32: 823-836.