

PSInSAR를 이용한 라스베가스 침하 관측

김상완^{1)*} · Shimon Wdowinski²⁾ · Falk Amelung²⁾ · Tim Dixon²⁾

1. 서 론

지반침하는 지하에서 발생하는 여러 가지 변화에 의해 지표면의 고도가 낮아지는 현상이다. 인위적 활동에 의한 지반침하의 원인으로는 지하수 펌핑, 지하유전으로부터 기름과 가스 개발, 석회암 대수층의 용해, 지하 광산의 붕괴, 유기토양의 배수 등이 있다. 이러한 원인들에 의한 침하는 전세계적으로 발생하고 있으며, 특히 연안에 위치한 도시(예, 뉴올린즈, 베니스)는 그 존재 자체까지 위협을 받고 있다.

인공위성 SAR 자료를 이용한 레이더 인터페로메트리(Interferometry) 기술은 지표의 고도 정보 추출 및 지진, 화산, 지반침하 등과 같은 표면 산란체의 미세한 변위 관측 분야에 널리 응용되어 왔다. InSAR를 이용한 대표적인 지표변위 관측기법에는 차분간섭기법(Differential Interferometric SAR, DInSAR) 및 PS 간섭기법(Permanent Scatterer Interferometric SAR, PSInSAR)이 있다. PSInSAR 기술은 긴밀도(coherence)가 높은 고정 산란체(Permanent scatterer, PS)를 이용하는 기술로써, 연구지역에서 획득된 거의 모든 SAR 영상을 활용할 수 있으며, 대기에 의한 영향을 효과적으로 제거할 수 있고 장기간에 걸쳐 발생하는 지표변위의 시계열 분석이 용이하다는 장점이 있다[1].

PSInSAR를 이용한 지반침하 관측 사례로는 ERS 자료를 이용하여 캘리포니아 Pomona 도심의 7년 간의 침하량을 측정한 연구 외에, 산사태 및 구조운동에 의한 변위를 관측한 연구, L-밴드 JERS-1 레이더 영상을 이용한 광산침하 연구 등이 수행되었다.

라스베가스에서 지하수는 현재 자연 함양보다 2-3배 만큼 양수를 수행하여, 약 25%의 물을 공급하고 있다. 대수층의 지속적인 초과양수는 지하수위를 낮추고, 결과적으로 몇몇 지역은 2m 이상 침하가 발생하였다. 이러한 침하 현상을 관측하기 위해 1935년 이후로 수준측량이 시행되었으며 1990년대에는 GPS를 이용한 관측이 진행되었으나, 최근 InSAR를 이용한 연구가 수행되었다[2]. InSAR를 이용한 관측은 매우 공간적으로 세밀한 지표변위도를 구할 수 있기 때문에 기존 연구에서 알려지지 않았던 사실(예, 침하는 4개의 국한된 지역에서 주로 발생하고, 각 침하지역은 4기 단층에 의해 구분된다는 것 등)이 밝혀졌다.

본 논문에서는 1992년부터 2000년까지 획득된 ERS-1/2 자료를 이용한 PSInSAR 분석을 통해 라스베가스 지역에서 발생하는 평균 침하 속도를 관측하였다. 이러한 연구는 연구지역 내 분포하는 수많은 고정산란체에서 시간에 따른 침하 양상 변화를 연구하는데 매우 중요한 자료로 사용될 수 있다.

2. 연구자료 자료처리

연구 수행을 위해 ESA (European Space Agency)로부터 53개의 ERS-1 그리고 ERS-2 자료를 수집하였다. ERS-1/2 자료는 1992년 4월부터 2000년 9월동안 트랙 356/프레임 2878에서

주요어 : 지반 침하, SAR, PSInSAR, 라스베가스

1) 세종대학교 지구정보공학과 (swkim@sejong.ac.kr)

2) Marine geology and geophysics, University of miami (shimonw@rsmas.miami.edu)

descending 궤도에서 획득된 것이다. 전체 영상의 크기는 약 100×100 km 이지만 라스베가스 분지 주변의 40×40 km 지역을 선택하였다(Fig. 1a).

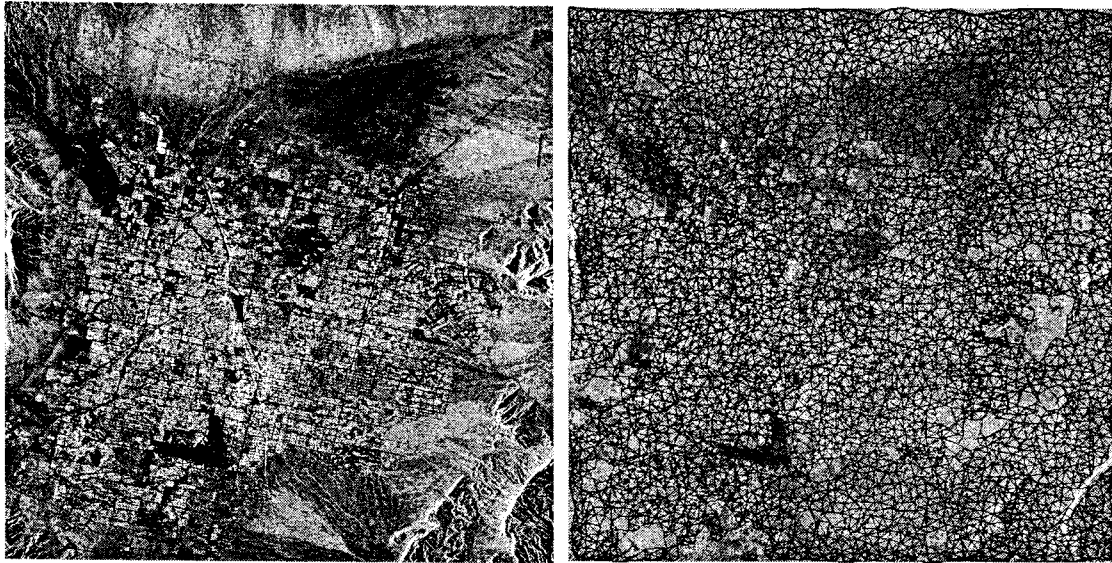


Fig. 1. (a) 다중시기에 획득된 ERS-1/2 SAR 영상의 평균 밝기 영상, (b) 연구지역에서 추출된 고정산란체 후보를 이용하여 구성된 네트워크(각 노드는 고정산란체를 그리고 연결선은 차분 위상을 계산하기 위한 네트워크를 나타낸다).

InSAR 자료처리를 위해 NASA/JPL의 ROLPAC을 기본으로 University of Miami 대학에서 개발한 프로그램을 이용하였으며, PSInSAR 자료처리를 위해서는 네덜란드 Delft 공대에서 개발한 matlab 코드를 바탕으로 University of Miami 대학에서 개발 중인 프로그램을 이용하였다. 초기 위상간섭도로부터 고도에 의한 위상을 제거하기 위해 1초 (약 30 m) 간격의 NED DEM이 이용되었으며, 53개의 SAR 영상 중 1997년 2월 28일 자료를 주영상으로 하여 52개의 차분간섭도가 제작되었다. 각 영상의 후방산란계수의 통계적 특성을 이용하여 약 5,100 개의 고정산란체 후보(PSC)가 선택되었으며, PSC 간의 거리가 2 km 이내인 모든 점을 연결하여 네트워크를 형성하였다(Fig. 1b). 각 네트워크에서 차분 위상값이 계산되고 이들의 시공간적 특성을 이용하여 대기에 의한 위상을 제거하였다. 대기에 의한 차분 위상값은 공간적으로 매우 연관성이 있으며, 반면에 시간적으로 매우 불규칙하게 나타난다. 지표변위는 시간적으로 매우 연관성이 있으며, 공

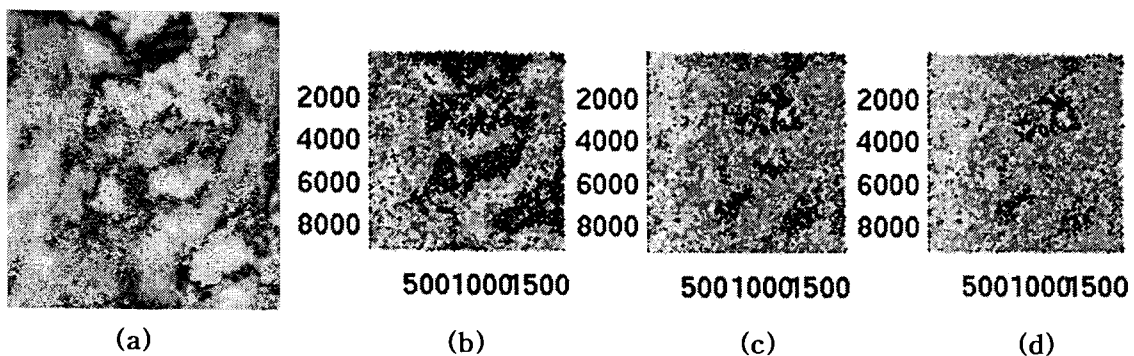


Fig. 2. (a) 1997년 2월 28일과 1998년 5월 29일 자료를 이용하여 제작된 차분위상간섭도, (b) 고정산란체 위치에서 추출된 위상만을 도시한 분포도, (c) 대기보정을 구하기 위한 반복 연산의 첫 번째 결과로써, 대기 위상을 제거한 후의 위상 분포도, (c) 두 번째 대기보정후의 위상 분포도.

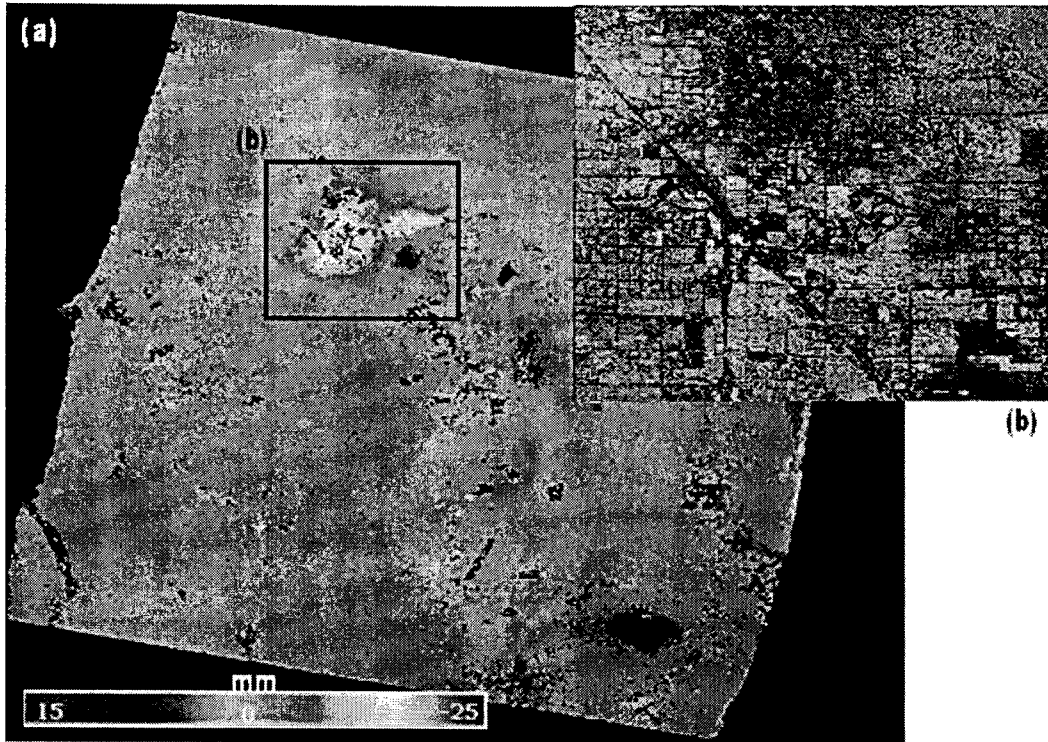


Fig. 3. (a) PSInSAR로부터 관측된 연구지역의 지표변위도, (b) 북서쪽의 주요 침하 지역의 확대 영상.

간적으로는 현상에 따라 다른 정도의 연관성을 보인다. Fig. 2는 이러한 특성을 이용하여 PSInSAR 프로그램에서 대기에 의한 위상이 제거되는 것을 보여주는 예로써, 초기 차분위상간섭도(1997/2/28-1998/5/29)에서 나타나는 대기 위상이 반복 연산에 의해 제거되어 가는 것을 볼 수 있다.

3. ERS-1/2 PSInSAR를 이용하여 관측된 지표변위

PSInSAR 기술로부터 관측된 연구지역의 최종 지표변위도는 Fig. 3과 같다. 크게 3지역에서 약 10mm/yr의 침하가 발생하였으며, 연구지역 북쪽 지역 (Fig 3b)에서는 약 15-25mm/yr의 침하가 발생하였음을 알 수 있다. 수직변위만을 가정한다면 몇몇 지역에서는 지표 상승으로 해석되는 신호가 관측되지만, 이는 보다 수평변위에 의한 영향으로 해석된다. 실제로 연구지역에서 지하수위 저하에 따른 지표의 균열이 관측되고 있다. 수직성분과 수평성분을 분리하기 위해서는 두 개 이상의 SAR 관측방향에서 분석이 수행되어야 한다. 현재 다양한 관측방향에서 RADARSAT-1 자료가 획득되고 있으므로 이를 분석하면, 보다 정확한 해석이 가능할 것이다.

참고문헌

- [1] Ferretti, A., Prati, C., and Rocca, F. (2000), "Nonlinear Subsidence Rate Estimation Using Permanent Scatterers in Differential SAR Interferometry", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, v. 38, pp. 2202-2212.
- [2] Amelung F., Galloway D L., Bell J W., Zebker H A., Laczniak R J. (1999), "Sensing the ups and downs of Las Vegas : InSAR reveals structural control of land subsidence and aquifer-system deformation", *Geology*, v. 27, pp. 483-486.