

인공위성 레이더를 이용한 지반침하 관측

김상완¹⁾ · 이창욱¹⁾ · 홍상훈¹⁾ · 원중선¹⁾

1. 서론

지반침하는 세계 여러 곳에서 발생하고 있으며, 대표적인 침하의 원인으로는 지진 및 화산, 지하 시설물의 건설, 폐광산의 공동, 그리고 지하수 유출 등이 있다. 전통적으로 지반침하는 정밀한 측량조사로 관측되는데, 측량은 고정밀도를 가지고 선택된 지역을 관측할 수는 있으나 넓은 지역에 적용할 경우에는 많은 시간과 비용이 요구된다. 최근에는 적은 비용으로 넓은 지역의 관측을 위해 GPS를 이용하기도 하는데, 단지 몇 개의 관측점만으로는 이차원적인 모델링을 수행하는데 한계가 있다. 영상레이더인 SAR 자료를 이용한 레이더 인터페로메트리(radar interferometry) 기술은 지난 1990년대 급속하게 발달한 마이크로파 원격탐사의 핵심 기술로 지형고도 추출 및 지진, 지반침하, 화산활동 등에 의한 지표의 미세 변위를 관측하는데 매우 유용하게 이용되고 있다[1][2][3][4]. DInSAR(Differential SAR Interferometry) 기술은 수백 km² 이상의 넓은 지역을 수십 m의 공간해상도를 가지고 지반침하의 변위량을 수cm에서 수mm 까지 측정할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구는 1995년에 매립이 완료된 녹산국가산업공단(A 지역) 및 부산시 사상구(B 지역)의 지반침하 현상을 SAR 영상을 이용하여 관측하고자하였다(Fig.1). 비록 이 지역은 매립하는 동안 상당량의 지반침하가 발생한 것으로 추정되지만 실제 현장관측자료는 없다. 이러한 현장조사 자료의 절대적인 부족과 달리 지난 수년간 다수의 ERS-1/2, JERS-1 SAR 그리고 RADARSAT 영상자료가 수집되었으며, 특히 JERS-1 SAR 자료는 총 19개의 영상이 획득되었다. 따라서 본 연구에서는 이들 SAR 자료를 이용하여 지난 수년간의 지표 변위를 관측하고자 한다. 또한 부산시 사상구에서 지반침하 현상을 관측하였으며, 침하 발생시기와 침하 위치를 고려할 때 부산시 제 2호 지하철 공사와 관련된 것으로 판단된다.

2. 자료처리

DEM 생성

DInSAR 기술을 이용하여 지표변위를 관측하기 위해서는 2-pass, 3-pass, 4-pass 방법 등이 있으나, 지속적인 지반침하 현상을 정확하게 관측하기 위해서는 2-pass 방법이 가장 효과적이다. 2-pass 방법은 두 개의 SAR 영상과

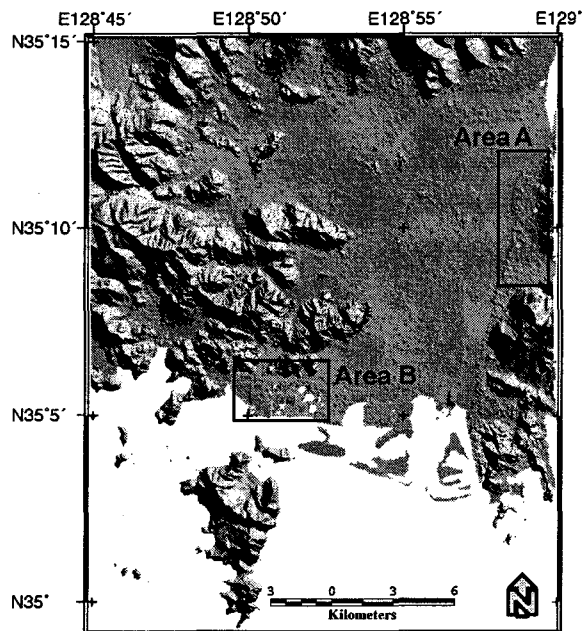


Fig. 1. Shaded relief map derived from digital contour map and ERS tandem DEM. The inset rectangle is the region of the study area.

주요어: SAR, DInSAR, 지반침하

1) 연세대학교 지구시스템과학과(sangwan@geors.yonsei.ac.kr)

DEM이 요구된다. 본 연구에서는 국립지리원에서 발간한 1:25,000 수치지도를 4개(무계, 김해, 동선, 다대)를 모자이크하여 tin 방법을 이용하여 15m 간격의 DEM을 생성하였다. 국립지리원에서 발간한 수치지도에는 녹산국가산업공단 지역의 등고선이 없을 뿐만 아니라 연구지역 내에 넓게 분포하고 있는 충적층 지대 및 도심지역에서 등고선이 없기 때문에 수치지도로부터 정확한 DEM을 구할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 ERS tandem pair(ERS-1:1995/12/17, ERS-2:1995/12/18)를 이용하여 DEM을 추출하였다. ERS pair의 수직 baseline은 -315.38 m로 interferogram내에서 한 fringe에 대응하는 고도변화를 나타내는 ambiguity height는 -25.80로 매우 작아 대부분의 산악지역에서는 phase aliasing과 layover effect 때문에 DEM을 추출할 수 없었지만 상대적으로 저지대에서는 정밀한 DEM을 생성할 수 있다. ERS를 이용하여 생성된 DEM은 Fig. 2와 같으며, 수치지도 DEM과 ERS DEM을 이용하여 합성된 DEM의 음영기록도는 Fig. 1과 같다.

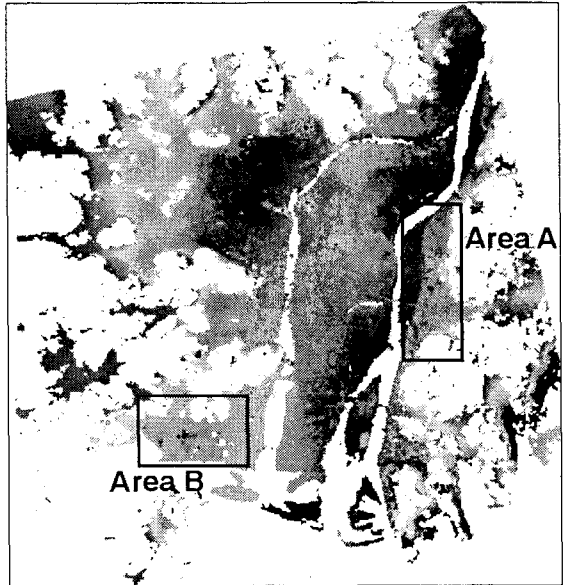


Fig. 2. DEM generated by ERS-1/2.

SAR Interferogram 생성

1992년 12월 18일부터 1998년 9월 29일에 걸쳐서 총 19개의 JERS-1 SAR와 한 개의 ERS-1/2 tandem pair 자료를 사용하였다. 본 연구는 연구지역의 지표변위를 관측하기 위해 두 가지의 접근방법을 선택하였다. 첫째는 지표변위를 포함한 Interferogram의 위상으로부터 지형에 의한 위상을 제거하는 전통적인 DInSAR 기법이며, 두 번째 방법은 Permanent Scatterer(PS)를 이용한 기술로, 이는 도심지에서 발생하는 침하량을 오랜기간에 걸쳐 측정하는데 효과적인 방법으로 자료간의 긴밀도가 좋지 않은 영상에서도 적용가능하며, 대기에 의한 영향을 줄일 수 있다는 장점과 시계열분석이 용이하다[5]. 연구지역 B 역시 자료간의 긴밀도가 좋지 않기 때문에 이러한 접근방법이 요구된다.

1998년 1월 8일 획득된 JERS-1 SAR 자료를 주영상으로 하여 17개의 재배열된 부영상을 생성하였다. 이들간의 interferometric phase를 이용하여 약 100 여개의 PS를 구하였다(Fig. 3). 이들 PS에서의 위상변화를 이용한 연구는 현재 수행 중에 있다.



Fig. 3. Location map of the permanent scatterers on the JERS-1 SAR image.

3. 결과해석

연구지역에서 약 40 여개의 InSAR pair를 생성하였다. 이중 ERS-1/2 pair는 DEM 생성을 위해 사용되었으며, 나머지는 지표변위를 관측

하기 위해 사용되었다. 비록 이들 interferogram으로부터 지형에 의한 위상을 아직 제거하지는 않았지만 부산시 사상구 일대는 거의 평지의 도심지역으로 지형에 의한 위상영향은 무시할 수 있다. 생성된 40 여개의 interferogram의 비교분석을 통해 부산시 사상구 지역의 침하를 관측하였다. 가장 대표적인 10개의 interferogram은 Fig. 4와 같다.

1996년 5월 자료를 주영상으로 하고 1996년 6월, 1996년 10월, 1997년 1월, 1997년 6월 자료를 부영상으로 하여 생성된 4개의 interferogram (Fig. 4a, 4b, 4c, 4d)으로부터 영상의 중앙에 위치한 부산 덕포역 주변에서 지반침하가 진행되고 있음을 나타내는 위상변화가 관측되었다. 덕포역 주변 일대의 침하량은 1년 동안 약 14.5 cm에 달한다. 또한 영상 남쪽에서도 침하가 일어나고 있음을 알 수 있다.

Fig. 4e는 다른 영상(1996년 6월)을 주영상으로 하여 생성된 1년간의 지표변위를 나타내며 4f, 4g는 약 3년간의 지표변위를 보여주고 있다. 3년간의 지표변위 결과를 보여주는 interferogram은 덕포역 주변에서의 지반 침하 뿐만 아니라 덕포역에서부터 남쪽방향으로 약 5km의 연장선을 따라 침하하는 양상을 분명하게 보여주고 있다. 이들 침하대와 조금 떨어져 북쪽방향에서도 미약하지만 침하가 관측되고 있다. Fig. 4h, 4i, 4j는 1997년 11월 이후의 자료로 생성된 interferogram으로 44일, 44일 그리고 308일 간의 지표변위를 나타낸다. 이들 interferogram에서 뚜렷한 위상 변화를 관측할 수 없으므로 1997년 11월 이후에는 지반침하 현상이 계속되지 않고 있음을 나타낸다. 1990년대 중반에 덕포역 주변은 지하철 공사 중이었으므로 지하수유출에 의한 주변의 지반침하 현상으로 판단되나 남쪽으로 연장성을 갖는 것 등에 대한 해석을 위해서는 좀 더 세부적인 연구진행이 필요하다.

참고문헌

- [1] Amelung F., Galloway D L., Bell J W., Zebker H A., Lacznia R J., 1999, Sensing the ups and downs of Las Vegas : InSAR reveals structural control of land subsidence and aquifer-system deformation, *Geology*, Vol. 27, No. 6, p 483-486
- [2] Massonnet, D., M. Rossi, C. Carmona, F. Adragna, G. Peltzer, K. Fiegl, and T. Rabaute, 1993, The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry, *Nature*, 364:138-142.
- [3] Mora O., Mallorqui J J., Duro J., and Broquetas A., 2001, Long-term subsidence monitoring of urban areas using differential interferometric SAR techniques, 2001 IEEE.
- [4] Strozzi T., and Wegmuller Urs., 1999, Land subsidence in Mexico City Mapped by ERS Differential SAR Interferometry, *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1999, IGARSS '99 Proceedings, IEEE 1999 International* , Vol. 4 , p 1940-1942
- [5] Ferrettit, A., Prati C., and Pocca., 2000, Nonlinear Subsidence Rate Estimation Using Permanent Scatterers in Differential SAR Interferometry, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 38, No. 5, p 2202-2212.

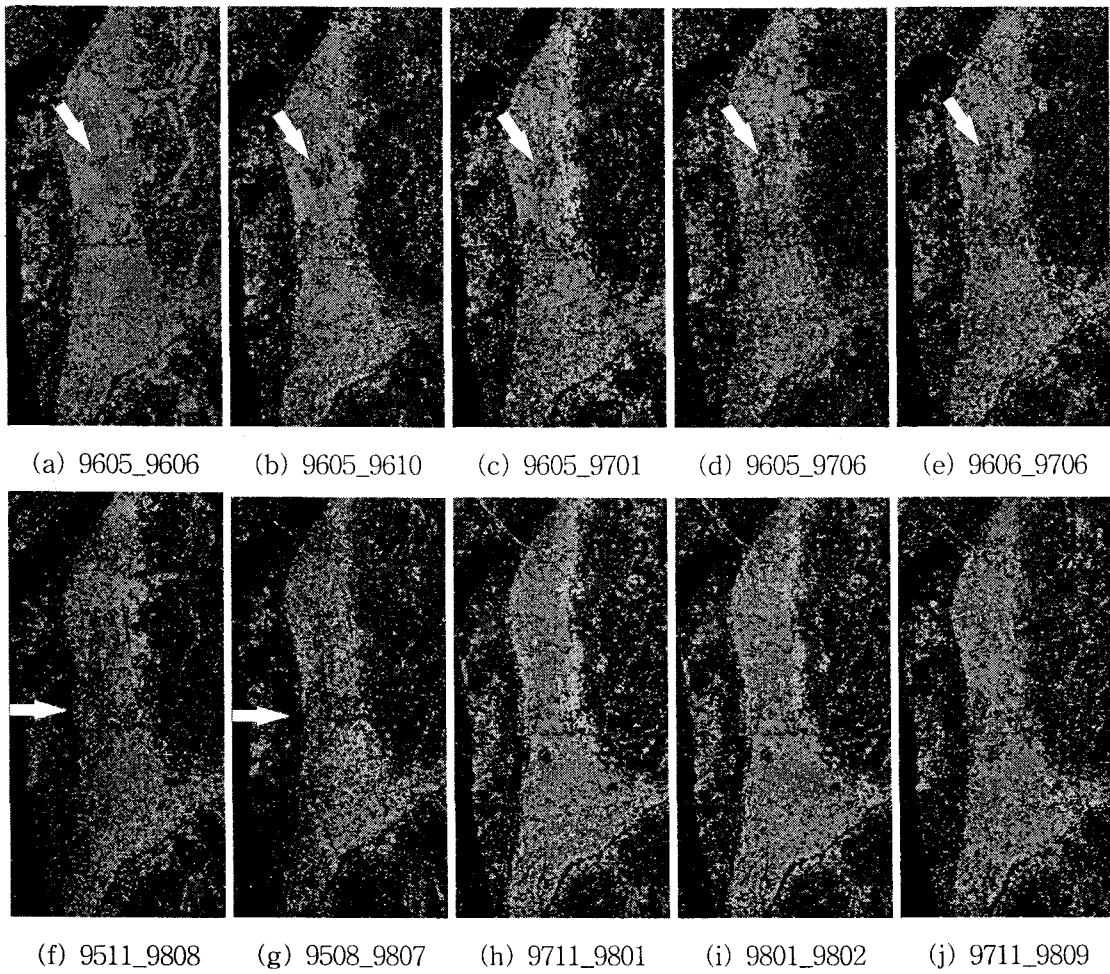


Fig. 4. Interferograms of JERS-1 SAR over Sasang-ku Busan.