

레이더 차분간섭기법을 이용한 뉴올리언스 지역의 시간에 따른 지표변위 관측

Subsidence Observation of time-series surface deformation at New Orleans using Differential SAR Interferometry

조민정^{*1}, 이창욱¹, 박정원¹, 원중선¹

Min-Jeong Jo^{*1}, Chang-Wook Lee¹, Jeong-Won Park¹, Joong-Sun Won¹

¹연세대학교 지구시스템과학과

owen009@yonsei.ac.kr

요약 : 뉴올리언스는 미시시피 강 하구에 위치하였으며 지난 2005년 허리케인 카트리나에 의해 큰 침수 피해를 입은 지역이다. 이 도시는 신생대 지층에 자리하고 있어 미고결층의 다짐작용 및 단층작용으로 최대 29mm 정도의 연간 침하율을 보여 왔다. 뉴올리언스의 계속된 침하작용은 평균해수면보다 낮은 지역에 위치한 도시의 침수위험성을 가중시키고 있어 현재 이에 관한 많은 연구가 진행되고 있다.

SAR영상을 이용한 차분간섭기법(DInSAR, Differential Interferometry of SAR)은 지반침하, 지진, 화산활동 등과 같이 수십 km²에 걸쳐 발생하는 지표변위를 수cm-수mm의 정밀도로 관측 가능한 기술이다. 이 연구에서는 차분간섭기법을 이용하여 2005년 2월부터 2007년 2월까지 촬영된 21개의 RADARSAT-1 Fine beam mode(F5) 영상으로부터 25개의 차분간섭영상(DInSAR Interferogram)을 생성하였다. 또한 차분간섭도의 spatial decorrelation을 극복하고 시간에 따른 LOS 방향의 변위를 관측하기 위해 분석 알고리즘으로는 보완된 SBAS(small baseline subset)기법을 이용하였으며, 이 기법을 이용하여 대기의 영향 및 노이즈를 제거한 결과를 얻을 수 있었다.

우리는 LOS방향의 2차원 변위분포 맵을 작성하였으며, 그 결과 전체적인 침하율은 크지 않지만, 도시의 서쪽지점에서 나타나는 상대적으로 큰 -1.49cm/yr의 변위 값과 동쪽 지점에서 0.33cm/yr의 변위 값을 관측하였다. 이 같은 결과는 앞으로의 연구에서 실측 데이터 및 동일기간의 다른 SAR영상자료의 연구를 통해 보완해 나갈 것이다.

1. 서론

레이더영상의 차분간섭(DInSAR)기법은 수십 Km² 이상의 넓은 지역에 대해 수cm-

수mm 의 측정 민감도를 가지고 지표변위를 관측 가능하게 하는 기술이다. 이 기술은 지반침하(Timothy et al., 2006), 지진(Fialko et al., 2005), 화산활동(Berardino

et al., 2002) 등에 의한 지표변위를 성공적으로 관측해왔으며, 변위를 발생시키는 메커니즘의 유추를 가능하게 하였다.

초기의 차분간섭기법은 한 쌍의 차분간섭영상으로부터 일회적 사건에 의한 지표변위를 분석하는 것에 국한되었던 것과 달리 최근의 연구 동향은 전 세계 많은 지역에 대한 SAR 영상자료가 축적됨에 따라 시간에 따른 지표변위를 관측하는 것으로 옮겨가고 있다. 그러나 여러 시기에 대한 차분간섭영상들을 분석할 때에 temporal decorrelation, baseline decorrelation 등과 같은 문제가 발생함으로 인해 동일지점의 변위를 정량적으로 측정하는 것이 쉽지 않았다. 긴밀도(coherence)가 높은 고정 산란체(Permanent Scatterer, PS)에 기반한 PSInSAR(Permanent Scatterer SAR Interferometry)기법은 분석에 사용된 모든 SAR 자료를 하나의 주영상(master image)과 나머지 부영상(slave image)들로 나누어 PS에서의 변위를 관측하는 방법이다. PSInSAR 방법을 사용하여 PS에서 수 mm단위의 지표변위까지 분석해 낼 수 있었으나 이때에도 주영상과 부영상간의 큰 수직기선의 길이차이나 시간간격의 차이로 인해 decorrelation이 발생하게 된다.

따라서 이러한 문제점을 극복하기 위해 Berardino et al.(2002)은 비교적 짧은 수직기선을 가진 차분간섭영상만을 이용하는 small baseline subset (SBAS) 알고리즘을 고안해냈다. 이들은 SBAS기법을 이용하여 ERS-1/ERS-2 위성영상으로부터 이탈리아 Campi Flegrei 칼데라에서의 지표변위를 성공적으로 관측해냈다.

이 연구에서는 SBAS 알고리즘을 이용하여 뉴올리언스 지역의 지반침하현상을

시간에 따라 분석하고 침하지의 분포 및 침하량을 정량적으로 산정하고자 한다.

2. SBAS(small baseline subset) 알고리즘

SBAS 알고리즘은 차분간섭도에서 발생하는 spatial decorrelation을 극복하기 위해 수직기선의 길이가 100~150m로 짧은 영상들을 사용하여 시간에 따른 변위를 관측할 수 있는 알고리즘으로 Berardino et al.(2002)에 의해 제안되었다. 이 알고리즘에서는 수직기선의 제한에 의해 시간적으로 연결되지 않는 차분간섭도가 발생하였으며 이를 극복하기 위해 singular value decomposition (SVD) 방법을 이용하였다. 또한 unwrapping 오차를 최소화하기 위하여 잔류 차분간섭도를 이용하였고, 각 차분간섭도의 대기효과를 보정하기 위해 공간적으로 저주파 필터와 시간적으로 고주파 필터를 적용하였다.

이 연구에서는 기존의 SBAS 알고리즘이 가지고 있는 지표변위의 노이즈 성분 제거에 대한 문제점을 보완하기 위해 유한차분 근사법(finite difference approximation)을 사용한 보완된 SBAS 알고리즘을 사용하였다.

연구지역 및 자료

뉴올리언스는 미시시피 강 하구에 위치한 도시로 과거 수차례 범람에 의한 피해를 입어왔으며 지난 2005년 8월에는 허리케인 카트리나에 의해 사상최대 규모의 침수피해를 입게 되었다. 이러한 수해가 여러 차례에 걸쳐 발생하는 것은 미시시피 강과 pontchartrain 호수 사이에 자리한 도시의 지리적 위치가 큰 영향을 미친

것으로 볼 수 있다(Fig 1).



Fig 1. Landsat 5 image of the study area.

강의 수위는 평균해수면보다 3m-4.6m, 호수는 1.5m 가량 높게 나타나며 도시의 건물들은 대부분 해수면보다 아래에 기반을 잡고 있어, 범람에 의해 수위가 제방의 높이를 넘어서게 되면 큰 수해를 입게 되는 것이다. 더욱이 뉴올리언스 지역은 신생대 3기 및 4기 층으로 구성되어 압밀 작용으로 인한 전체적 침하 현상을 받고 있다. 도시화가 진행되면서 지반침하현상은 가속화되기 시작하였고, 이것은 수해의 위험을 증대시키게 되었다. Timothy et al.(2006)은 PSInSAR 기법을 이용하여 뉴올리언스 지역의 침하분포도를 작성하고 그 결과 최대 -29mm/yr의 침하율을 관측하였다.

연구지역의 차분간섭영상을 생성하기 위하여 우리는 2005년 2월에서 2007년 2월까지 촬영된 21개의 RADARSAT-1 Fine beam mode(F5) 영상을 사용하였고, 이로부터 25쌍의 차분간섭영상을 생성하였다(Table 1).

뉴올리언스는 고도의 차이가 거의 없는 지형으로 수직기선의 크기에 따른 spatial

Table 1. Perpendicular baseline and DInSAR Interferograms of RADARSAT-1 fine data.

DInSAR Interferograms		B_{\perp} (subset)
Master	Slave	
2005/02/05	2005/03/25	16.83 (1)
2005/02/05	2005/04/18	5.18 (1)
2005/02/05	2005/10/27	-14.84 (1)
2005/03/01	2006/04/13	-104.8 (3)
2005/04/18	2005/05/12	-244.8 (1)
2005/04/18	2005/06/29	-127.16 (1)
2005/05/12	2005/06/29	117.65 (1)
2005/05/12	2005/08/16	-251.03 (1)
2005/05/12	2005/11/20	87.17 (1)
2005/05/12	2005/12/14	-149.82 (1)
2005/05/12	2006/01/31	271.6 (1)
2005/06/29	2005/10/27	107.2 (1)
2005/07/23	2007/01/02	138 (2)
2005/08/16	2005/12/14	101 (1)
2005/10/27	2006/01/31	46.7 (1)
2005/11/20	2006/01/31	184.3 (1)
2005/12/14	2006/02/24	-9.1 (1)
2005/12/14	2006/12/09	25.61 (1)
2006/01/07	2006/01/31	-158.18 (1)
2006/01/07	2006/03/20	70.8 (1)
2006/01/31	2006/03/20	229 (1)
2006/02/24	2006/12/09	34.77 (1)
2006/04/13	2006/09/28	-273.62 (3)
2006/04/13	2007/01/26	11.3 (3)
2007/01/02	2007/02/19	-113.4 (2)

decorrelation이 적게 발생하기 때문에 이 연구에서는 고도차를 고려하여 수직기선의 길이가 비교적 긴 300m정도의 영상도 사용할 수 있었다. 차분간섭영상은 Fig 2. 와 같이 수직기선을 고려하여 3개의 subset으로 나누었다.

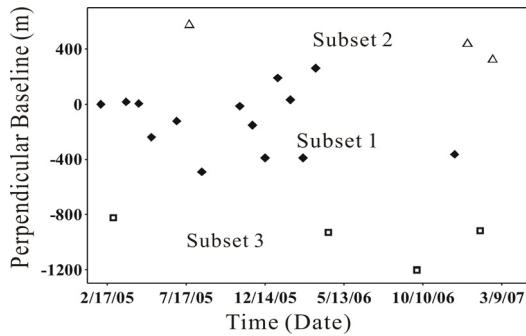


Fig 2. The number of small baseline subsets of RADARSAT-1 DInSAR interferograms.

4. 결과 및 토론

뉴올리언스 지역의 차분간섭영상을 이용한 SBAS 분석결과 Fig 3. 과 같은 LOS방향의 변위분포도를 얻을 수 있었다. 전체 분석기간인 2005년 2월에서 2007년 2월(819 days)까지의 변위량을 2차원적으로 나타낸 결과, 도시의 서쪽지역에서 다른 지역에 비해 변위가 많이 발생하고 있으며 중심지역에서도 약간의 변위가 발생하고 있음을 살펴볼 수 있었다. 특히, A지점에서의 변위량을 시간에 따라 도시한 결과 변위 값이 -1.49cm/yr 로 측정되어 선형적으로 증가하고 있음을 확인할 수 있었다(Fig 4). B지점에서의 측정결과에서도 -5.9cm/yr 로 변위가 선형적으로 발생함을 알 수 있었다. 그러나 변위분포도의 전체적인 양상을 살펴볼 때 연구지의 중심을 비롯한 남동쪽, 남서쪽에서는 변위가 거의 발생하지 않음을 알 수 있었다. 이것은 C지점의 변위 측정값인 -0.19cm/yr 로부터 확인할 수 있다(Fig 4).

연구지역의 동쪽은 서쪽의 A지점과는 다른 방향의 변위가 관측되고 있다. 이것은 Fig 3. 을 통해서 살펴볼 수 있으며 D지점의 시간에 따른 변위 값을 도시해 본 결과



Fig 3. LOS velocity map at New Orleans during 2005-2007. Arrow indicates flight and LOS direction. Look angle is about 40° .

시간에 따라 일정한 속도 값을 갖고 있지는 않지만 약 0.33cm/yr 정도의 변위 값을 측정할 수 있었으며 지반의 고도가 상승하고 있을 가능성을 추측할 수 있었다 (Fig 4).

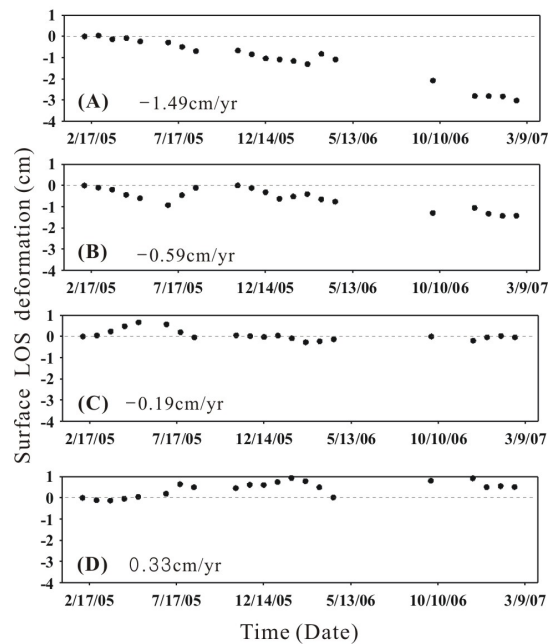


Fig 4. Time series LOS surface deformations of 4 individual pixels. Each point represents data from individual SAR image(total 21).

우리는 Fig 5. 와 같이 연구지역의 표준편차분석 또한 실행하였다. 미시시피 강변을 비롯한 중심부에서는 표준편차가 적게 나타나지만 서쪽지역에서의 표준편차 값은 상대적으로 큰 값을 나타냄을 볼 수 있다. 이것은 Timothy et al.(2006)의 표준편차 분석에서 뉴올리언스의 서쪽지역이 큰 편차를 보이는 결과와 일부 일치한다.

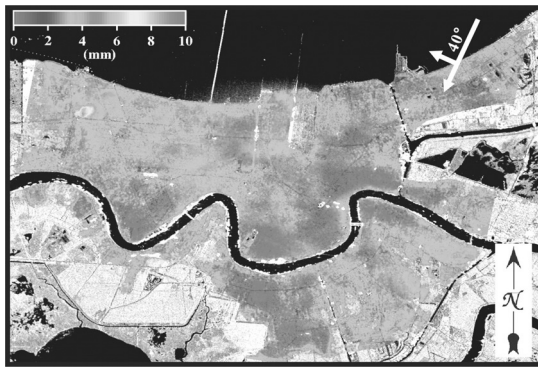


Fig 5. Standard deviation of Surface LOS velocity map at study area.

5. 결론

레이더 차분간섭기법은 수십 km^2 의 영역에 대한 지표변위의 분포를 2차원적으로 나타낼 수 있다. 이를 이용하여 뉴올리언스 지역에 대한 2005년 2월에서 2007년 2월까지의 침하현상을 분석하고자 하였으며, SBAS기법을 통해 시간에 따른 지표변위를 효과적으로 도시화 할 수 있었다.

LOS방향의 변위는 뉴올리언스의 서쪽 지역에서 선형적 양상으로 진행되고 있으며 그 값은 연간 약 -1.49cm/yr 로 측정되었다. 그 밖에 남서쪽, 남동쪽 지역에서는 -0.19cm/yr 로 변위가 거의 발생하지 않고 있으며, 동쪽지역에서는 0.33cm/yr 의 속도로 서쪽지역과는 다른 방향의 지표변위가

발생하고 있음을 관측할 수 있었다.

이러한 결과들은 차후 연구에서 실측데이터와의 비교 및 같은 기간 내에 촬영된 RADARSAT-1 standard beam mode(S2)의 영상을 분석함으로써 보완해 나갈 것이다.

참고문헌

- Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R. & Sansosti, E., 2002. A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **40**, 2376-2383.
- Dixon, T. H., Amelung, F., Ferretti, A., Novali, F., Rocca, F., Dokka, R., Sella, G., Kim, S. W., Wdowinski, S. & Whitman, D., 2006. Subsidence and flooding in New Orleans, *Nature* **441**, 587-588.
- Dokka, R. K., 2006. Modern-day tectonic subsidence in coastal Louisiana, *Geology*, **34**, 281-284.
- Fialko, Y., Sandwell, D., Simons, M. & Rosen, P., 2005. Three-dimensional deformation caused by the Bam, Iran, earthquake and the origin of shallow slip deficit, *Nature* **435**, 295-299.