

레이더 차분간섭도를 이용한 녹산국가산업단지 지반침하관측 Ground Subsidence Measurements of Noksan Industrial Reclaimed Land using Radar Interferometry

이창욱^{*1}, 최정현¹, 심택모², 현승규²

Chang-Wook Lee^{*1}, Jung-Hyun Choi¹, Taek-Mo Sim², Seung-Kyu Hyun²

¹연세대학교 지구시스템학과

²한국원자력안전기술원

crystalseven@yonsei.ac.kr

요약 : 녹산국가산업단지는 부산광역시에서 서쪽의 연안매립지 형태의 공업단지이며, 이 지역은 1990년대 초반부터 약 10여년간에 걸쳐 산업단지가 조성되었다. 녹산국가산업단지는 연안 매립에 따른 연약지반으로 인하여 지반침하현상이 지속적으로 발생하고 있으며, 이와 같은 이유로 2000년대 초반에는 침하계를 이용하여 지반침하현상을 관측하였다.

레이더 차분간섭도를 이용한 지표변위는 침하계 자료와의 비교 및 분석을 통하여 연구지역의 지반침하현상을 지속적으로 관측할 수 있으며, 실측 자료가 획득되지 못한 2000년대 중반과 후반의 지반침하현상도 측정할 수 있는 장점을 지니고 있다. 이번 연구는 2002년부터 2003년까지 획득된 RADARSAT-1 F4 fine-beam모드와 2004년부터 2007년까지 획득된 ENVISAT IS-2모드를 이용하여 2000년대 초반부터 후반까지의 녹산국가산업단지의 지반침하현상을 관측하고 이를 분석하는데 있으며, 관측결과 약 4년동안 최대 33 cm의 침하량을 보이는 곳도 있었다. 이 결과는 C-band 레이더 위성자료의 차분간섭도가 국가 주요시설물 지역의 지반침하 측정에 유용한 정보를 제공할 수 있는 중요한 사례가 될 것이다.

1. 서론

녹산국가산업단지와 같은 해안매립지는 공업의 발달에 따른 공장부지 부족의 해소와 도시의 확대에 따른 시민의 건강보존 및 생활환경 개선을 위하여 우리나라와 같이 육지의 면적이 좁으며 해안지역이 많은 지역에서는 그 중요성이 날로 높아지고 있다.

이와 같은 해안매립지는 모래·점토 및 실트 퇴적물로 구성되어 있어서 부등침하가 일어날 수 있는 불안정 연약지반에 해당된다(이선갑, 1999). 따라서, 그 위에 건설되는 건설물들은 침하에 따른 안정성에 많은 문제가 야기되고 있다. 연구지역인 녹산국가산업단지 역시 2001년 초부터 2002년 말까지 계속된 실측 자료에 의하면 지속적으로 잔류 침하가 발생하고 있음을 알 수 있다. 이

와 같은 지반침하가 계속됨에도 불구하고, 경비등의 문제로 2003년 이후에는 측량이 중단된 상태이다. 따라서, 이번 연구에서는 레이더 차분간섭(DInSAR)기법을 이용하여 측량의 실측량과 레이더 차분간섭도 간의 정량적인 비교·분석을 시행하고자 하며, 실측 자료가 없는 기간에 대해서도 레이더 차분간섭도를 이용하여 잔류침하량을 측정하고자 한다. 시간에 따른 지반침하의 지속적인 침하량을 측정하기 위하여 Small Baseline Subset (SBAS) 기법 (Berardino et al., 2002)을 적용하였다.

2. 연구지역 및 자료처리

연구지역인 녹산국가산업단지 (Fig 1)는 행정구역상 부산시 강서구 송정동에 위치하고 있으며, 1993년부터 1999년까지 낙동강 하구에 점토퇴적물층 위를 매립한 해안매립지이다. 레이더 차분간섭기법을 이용한 기존의 연구는 1996년부터 1998년까지의 JERS-1 레이더 자료를 이용하여 이 지역의 연약지반 개량공사에 의한 지반침하를 정량적으로 분석한 바 있다 (Kim et al., 2005). 이번 연구에서는 2002년 9월부터 2003년 10월까지 획득된 RADARSAT-1 레이더 자료와 2004년 7월부터 2007년 4월에 획득된 ENVISAT 레이더 자료를 이용하여 녹산국가산업단지에 발생하는 지속적인 지반침하현상을 관측하고 침하계 자료와 비교·분석 하고자 한다.

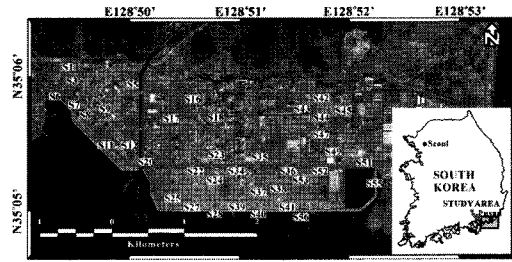


Fig 1. 연구지역의 IKONOS 위성영상. S1~S56 : 2001년 1월 22일 설치된 침하계의 위치.

우선, 기존의 연구 결과는 시계열에 따른 지속적인 지반침하의 변위량 보다는 각각의 레이더 차분간섭도 안의 변위량을 측정하였다. 이와 같은 방법은 레이더 차분간섭도내의 변위량 뿐만 아니라, 대기의 영향등 다양한 예러 요소들을 포함하게 되어서 잘못된 결과를 초래 할 수 있다. 이를 보완하기 위하여 이번 연구에서는 SBAS 기법을 적용하여 시간에 따른 지속적인 침하량을 측정할 뿐 아니라, 레이더 차분간섭도 내에 포함 되어있는 모든 예러 요소들을 최소화 하였다. (Fig 2)와 (Fig 3)는 SBAS 기법을 적용하기 위하여 RADARSAT-1 영상과 ENVISAT 영상으로부터 만들어 질 수 있는 차분간섭쌍을 나타낸 그래프이다. RADARSAT-1의 경우, 총 17개의 차분간섭도를 작성하였으며, 이 중 7개 (Fig 2의 실선)의 양질의 차분간섭도를 이용하였고, ENVISAT은 총 12개의 차분간섭도 중 7개의 (Fig 3의 실선) 양질의 차분간섭도를 작성하여 개선된 SBAS 알고리즘 기법 (Jung et al., 2008)을 적용하였다.

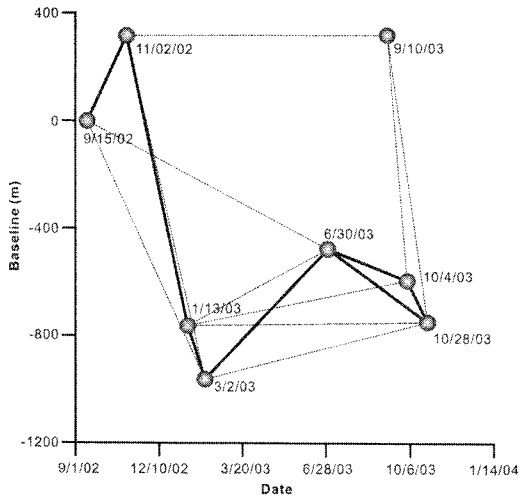


Fig 2. 개선된 SBAS 알고리즘 기법을 적용하기 위한 차분간섭도의 기선거리 (RADARSAT -1 영상)

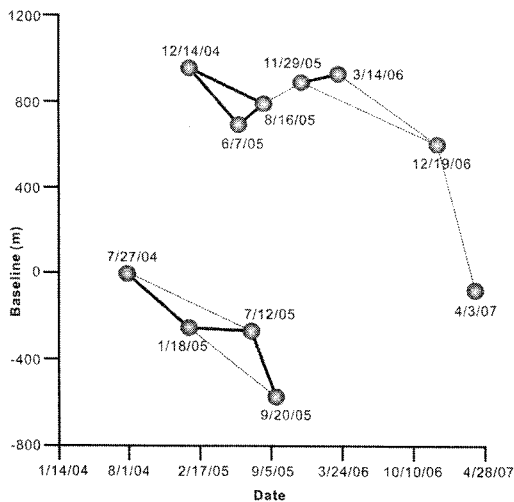


Fig 3. 개선된 SBAS 알고리즘 기법을 적용하기 위한 차분간섭도의 기선거리 (ENVISAT 영상)

3. 자료 처리 결과

2002년 9월부터 2003년 10월까지 획득된 RADARSAT-1 레이더 자료를 이용하여 개선된 SBAS 알고리즘 기법을 적용한 결과, Fig 4 와 같은 녹산국가산업단지의

지표변위맵을 작성 할 수 있었으며, 이 지표변위맵에 나타난 지표변위량을 보면 13개월 동안 최대 약 15cm의 침하량을 관측할 수 있었다.

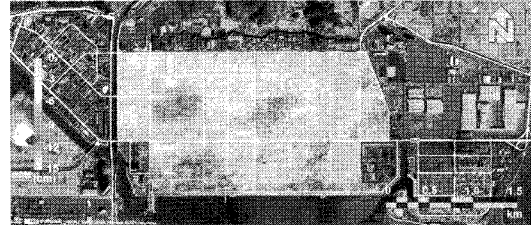


Fig 4. 개선된 SBAS 알고리즘 기법으로 작성된 연구지역의 지표변위맵 (RADARSAT -1 영상)

반면에 2004년 7월부터 2007년 4월에 획득된 ENVISAT 레이더 자료를 이용하여 작성된 녹산국가산업단지 지역의 지표변위맵은 Fig 5와 같으며, 33개월 동안 최대 약 18 cm의 침하량이 관측되었다.



Fig 5. 개선된 SBAS 알고리즘 기법으로 작성된 연구지역의 지표변위맵 (ENVISAT 영상)

Fig 6은 RADARSAT-1 과 ENVISAT 을 이용하여 2002년 9월부터 2007년 4월까지 (2003년 10월부터 2004년 7월까지의 변위량은 제외됨) 작성된 지표변위맵 (Fig 4 와 Fig 5) 으로 연간 지표변위량을 나타낸 지표변위율맵이다. 녹산국가산업단지 지역의 주요 침하지는 중심부에서 동쪽과 서쪽 그리고 바다와 만나는 경계부이며,

최대 약 10cm/year 정도의 침하율을 보였다.



Fig 6. RADARSAT-1 과 ENVISAT 영상을 이용해 작성한 연간 지표 침하율 맵

개선된 SBAS 알고리즘 기법을 이용하여 작성된 RADARSAT-1 과 ENVISAT 차분간섭도의 시간에 따른 지표변위와 녹산국가산업단지에 분포하는 침하계의 침하량 분포는 Fig 7 과 같다. Fig 7의 (a) 와 (b)는 Fig 6의 S18과 S35 에 해당되는 침하계의 위치를 나타내며 이곳에서의 침하계에 의해 측정된 침하량은 시간에 따라서 “+”(Fig 7 (a) 와 (b))와 같이 분포하고, “◇”(Fig 7 (a) 와 (b))는 침하계와 같은 위치에서 측정된 차분 간섭도의 침하량을 나타낸다. 이와 같이 두 값의 분포를 통해서 978일 동안 (a)지점에서는 6cm, (b)지점에서는 7cm 의 침하를 관측할 수 있었다. 또한, RADARSAT-1과 ENVISAT의 시간에 따른 분포를 나타내는 Fig 7의 (c) 와 (d) 지점에서는 1415일 동안 약 20-22cm 의 침하량을 관측 할 수 있었다(다만, 2003년 10월부터 2004년 7월까지의 변위량은 자료의 부재로 인하여 전체 침하량의 평균값을 이용함). 이와 같은 지반침하는 녹산국가산업단지내의 건물 및 도로 등의 인공구조물에 영향을 미쳐 Fig 8과 같이 침하 발생 지역 곳곳에서 갈라짐 현상이 발생하고 있다.

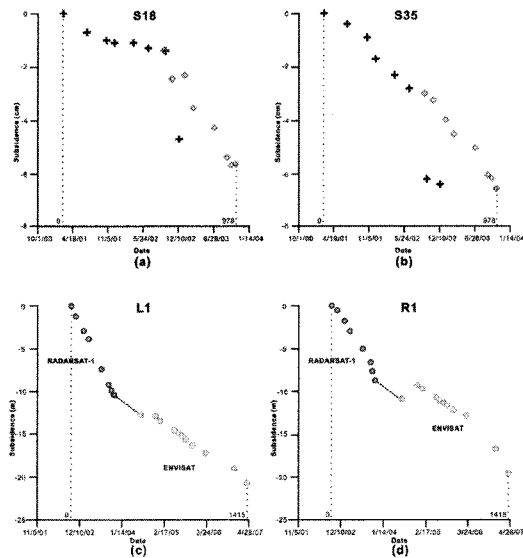


Fig 7. (a)와 (b)는 RADARSAT-1과 침하계와의 침하량 분포. (c)와 (d)는 RADARSAT-1과 ENVISAT의 시간에 따른 침하량 분포

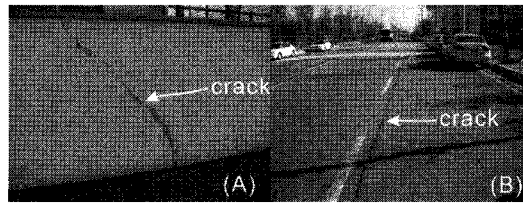


Fig 8. 침하가 발생하는 인근지역의 구조물과 도로의 갈라짐 현상

4. 결론

해안 매립지인 녹산국가산업단지의 시간에 따른 지반침하 현상을 관측하기 위하여 RADARSAT-1과 ENVISAT에 개선된 SBAS 알고리즘 기법을 적용하여 침하량을 관측하였다. RADARSAT-1의 경우 2000년대 초반에 관측된 침하계와의 비교를 통하여 침하량을 산출하였으며, 그 이후에는 RADARSAT-1과 ENVISAT의 지표변위맵을 통하여 시간에 따른 침하량을 측정하였다. 연구지역의 총 침하량은

관측된 46개월 동안 최대 약 33cm 에 달하였었다. 침하의 원인으로는 해안지역의 지반 매립시 약한 지반을 단단하게 다지기 위해 시행되는 배수공사의 부실로 인하여 잔류 침하가 발생 할 수 있으며, 다른 요인으로는 토양의 다짐작용에 의한 지표면의 변위 등이 지반침하의 원인으로 꼽힐 수 있다. 이러한 결과를 바탕으로 현재 운용되고 있는 ALOS PALSAR 영상이나 TerraSAR-X 영상을 통하여 최근의 지반침하양상에 대해서도 관측할 수 있다고 사료된다.

사 사

본 연구는 대한민국 교육과학기술부의 원자력기술개발사업, “지표변형평가 최적화 기반자료분석” 과제(M20702070001-08M0207-00110) 로 수행되었음을 밝히며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

이선갑, 1999, 낙동강 하구 녹산공단지역 점토 퇴적물의 광물조성과 토질공학적 특성, 석사논문, 지질학과, 부산대학교.
 정형섭, 이창욱, 박정원, 김기동, 원중선, 차분 간섭도로부터 지표변위의 시계열 관측을 위한 개선된 Small Baseline Subse (SBAS) 알고리즘, 대한원격탐사학회지, 24(2): 165-177.
 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.
 Kim, S. W., Lee, C. W., Song, K. Y., Min, K. D. & Won, J. S., 2005, Application of L-band differential SAR interferometry to subsidence rate estimation in reclaimed coastal land, *International Journal of Remote Sensing*, 26, 1363-1381.
 Kim, S. W., & Won, J. S., 2003, Measurements of soil compaction rate by using JERS-1 SAR and a prediction model, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, 2683-2686.