

다편광 산란계 실험을 통한 개펄 건조시의 지반 침하와 마이크로파 침투 분석

이훈열¹, 채희삼¹, 조성준²

¹강원대학교 지구물리학과, ²한국지질자원연구원 지반안전연구부
hoonyol@kangwon.ac.kr

Analysis of Land Subsidence and Microwave Penetration on Drying Mudflat by using a Polarimetric Scatterometer Experiment

Hoonyol Lee, Heesam Chae and Seong-Jun Cho

¹Department of Geophysics, Kangwon National University

²Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

Abstract: 새로 조성된 간척지 갯벌이 건조 수축하면 지반 침하와 더불어 토양 내로의 마이크로파의 침투 깊이가 증가한다. 따라서 인공위성 DInSAR를 이용하여 지반 침하량을 구하고자 할 때, 건조 시 동시에 발생하는 마이크로파의 개펄 침투 현상을 규명하여 보정해 주어야 한다. 이를 위하여 다편광 산란계(Polarimetric Scatterometer)를 구성하여 건조 개펄에 대한 실내실험을 실시하였다. PolScat의 구성은 5.0-5.6GHz 대역의 dual-polarization square horn antenna를 사용하였으며 Agilent 8753ES 벡터 네트워크 분석기를 사용하였다. 길이 2m, 폭 2m, 높이 20cm의 개펄 샘플을 약 6주 동안 실내에서 건조시켜 위상을 측정된 결과 지반 침하와 함께 약 4mm의 마이크로파 투과현상이 발견되었다. 따라서 인공위성 DInSAR 지반침하량 계산에 있어서 반드시 토양 수분에 따른 마이크로파의 토양 침투 깊이를 보정해 주어야 함이 밝혀졌다.

I. 서론

인공위성을 이용한 다시기 SAR 영상의 차분 간섭법 기술(DInSAR)은 자연적이고 인공적인 지표의 움직임을 센티미터 혹은 밀리미터 단위까지 광범위하게 모니터링 하는데 사용되어 왔다.

Lee and Chi(2004)는 2002년 물막이 공사가 끝난 서해안 화옹 간척지에서

2003년 9월과 10월 사이에 건조 수축에 의한 최대 30mm의 수직 지반침하로 보이는 DInSAR 신호를 보고한 바 있다. 그러나 간척지 갯벌에서 연중 건조기에 토양 건조 수축에 의한 지반침하와 더불어 마이크로파가 토양에 침투하는 현상이 공존할 수 있다. 토양 수분이 감소함에 따라 지반 침하와 마이크로파의 침투가 같은 방향으로 발생하기 때문에 위성 영상에서

의 관측만으로는 이 두 신호를 분리해 낼 수 없다. 따라서 토양수분과 지반침하를 계측할 수 있는 상태에서 토양 내로의 마이크로파의 침투 깊이를 측정할 수 있는 실험이 반드시 수반되어야 한다.

이 논문에서는 다편광 산란계를 구성하고 간척지 갯벌 환경을 실내에서 모사하여 토양 수분과 지반침하량을 직접 측정하고 마이크로파의 침투 깊이를 측정할 실험을 소개하고자 한다. 먼저 다편광 산란계의 구성과 작동 원리 및 특징에 대하여 설명하고, 실내 실험의 구성 및 실험 방법을 소개하며, 실험 결과에 대해 기술하였다.

II. 다편광 산란계

실험을 위하여 벡터 네트워크분석기(Vector Network Analyser, VNA)와 C-band 혼(horn)안테나를 이용한 다편광 산란계(Polarimetric Scatterometer, PolScat)를 다음과 같이 구성하였다.

안테나와 고정 스탠드(최대 높이 3m)는 MTG Inc.에서 설계 및 제작 후 특성 시험을 거쳐 납품되었다. 안테나는 dual-mode transducer를 이용한 정사각형 모양의 다편광 혼 안테나(dual-polarization square horn antenna)로서, 2개 포트에서 네 가지 편광 산란 측정값(HH, HV, VH, VV)을 동시에 얻을 수 있다. 대역은 600MHz이고 중심 진동수가 5.3GHz로서 Radarsat-1, ERS-1/2, Envisat 등의 C-band를 사용하는 인공위성 SAR 시스템과 부합되도록 설계되었다.

벡터 네트워크 분석기는 30kHz-6GHz

까지 작동하는 Agilent 8753ES를 사용하였다. Agilent 85032B Type N Calibration kit을 이용하여 시스템을 보정할 수 있으며, 자체적으로 Chirp-Z 알고리즘을 이용한 Fourier 변환을 통해 시간 영역에서 분석이 가능하다. 컴퓨터와 VNA를 GPIB-USB 커넥터로 연결하여 자동 측정하는 시스템을 구축하였다.

VNA는 stepped-frequency sweep을 통하여 진동수 영역에서 자료를 얻은 후 이를 역 Fourier 변환을 통해, 마치 시간적으로 짧은 sinc 소스를 발사하여 되돌아오는 신호를 시간 영역에서 취득하는 레이더의 효과를 얻는다.

특히 PolScat에서 얻어지는 위상은 안테나와 목표물간의 거리의 함수로서, 시스템에서 위상의 오차를 ϕ_{error} 라고 한다면, 거리 측정의 오차는 $R_{error} = \frac{\lambda}{4\pi} \phi_{error}$ 이다.

실험 결과 시스템과 목표물이 안정된 상태에서 위상 오차는 1도 미만이었으며, $\phi_{error} = 1^\circ$ 일 때 파장 $\lambda = 5.6cm$ 인 시스템에서 $R_{error} = 0.08mm$ 정도이다. 보통 위성 시스템에서는 위성체의 잡음이나 측정 시간에 따른 차이로 인하여 최악의 경우 $\phi_{error} = 10^\circ$ 로 보고 있으며, 그렇다면 하더라도 $R_{error} = 0.8mm$ 가 되어 매우 정밀한 지표변위를 측정할 수 있는 DInSAR의 이론적 근거가 된다.

레이더의 시간 해상도는 $\delta t = 1/B$ 로 정의되며, 주파수 대역이 $B = 600MHz$ 인 이 시스템의 $\delta t = 1.67ns$ 이다. 거리 해상도(slant range resolution)는 $\delta R = c\delta t/2 = c/(2B)$ 로 정의되며, 이 시스

템에서는 $\delta R = 25\text{cm}$ 에 해당한다. 이 레이더 시스템의 최대 거리 R_{max} 는 네트워크 분석기의 frequency sampling 수가 N 일 때, $R_{\text{max}} = (N-1)\delta R$ 이다. Agilent 8753ES VNA의 최대 N 은 1601이며, 이때 $R_{\text{max}} = 400\text{m}$ 이다. 이러한 최대 거리는 주파수 대역을 줄이면 무한대까지 늘어날 수 있으나, VNA의 파워가 10dBm으로 제한되어 있기 때문에 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 신호증폭기를 추가하여 설치할 수 있으나, 발신기와 수신기가 하나의 안테나로 이루어지는 이 시스템에서는 신호증폭기의 설치가 불가능하다. 따라서 이 시스템은 야외보다는 실내 실험, 목표물과 안테나가 수 백 미터를 넘지 않는 거리에서 사용하기 적합하다.

III. 실내 갯벌 건조실험

PolScat을 이용한 개펄 실내 실험의 구성을 나타내고 있다. 안테나의 입사각은 45도로 유지하였으며 바닥에서 안테나 Port 1까지의 높이는 205cm이다. 개펄은 서해안에서 자연 갯벌에서 채취한 것으로서, 최초 질량은 약 1ton이다. 마이크로파를 대부분 통과시키는 스티로폼을 이용하여 세로 2m, 가로 2m, 높이 20cm의 실험대에 개펄을 평탄한 상태에서 침전시켰다. 실내 온도는 약 20도, 습도는 40%를 유지하였다.

실내 실험의 특성상 최대 거리가 멀지 않아도 되며 빠른 측정을 위하여 $N=101$ 로 하였고, 이때 $R_{\text{max}} = 25\text{m}$ 이다. 개펄이 마르면서 건조 수축에 의한 amplitude와 phase 변화를 HH, HV, VH, VV 편광

모드로 약 7주간 측정하였으며, 이와 함께 수직적 침하를 측정하고 사진을 자동으로 촬영하였다. 그림 1은 HH 편광의 amplitude와 phase의 시간에 따른 변화를 보여주고 있다.

개펄은 배수-증발-건열을 거치면서 약 40mm의 수직 침하를 일으켰으며, 건열이 충분히 발생하여 구조적으로 안정된 이후인 예는 수직 침하가 거의 일어나지 않았다. Radarsat-1과 같은 편광을 가지는 HH에서는, 건열 진행이 중단되고 개펄 전체가 소금으로 덮여 구조적으로 안정된 후 위상이 점차적으로 50도 정도 감소하였다. 수직적 침하 현상이 전혀 없는 상태에서 이러한 위상의 변화는 안테나와 개펄 샘플 사이에 약 4mm의 거리 변화를 의미하며, 이는 수직적으로는 약 5.6mm의 수직 침하량으로 오인될 수 있다.

실험 마지막 날에는 스프레이를 이용하여 개펄 표면에 수분을 일정하게 공급하면서 측정을 계속하였다. 먼저 스프레이를 일정량 뿌린 후 표면 수분이 완전히 흡수되어 광택이 사라질 때까지 안정화 된 상태에서 측정을 하였다. 이는 개펄이 건조된 후 표면 구조는 그대로 두면서 수분의 변화를 주었을 때를 모사하기 위한 것으로 약 3시간 동안 30여회 측정했다. 스프레이 실험을 시작하자 위상이 급격히 증가하는 양상을 보여주고 있으며, 실험 중단 시까지 약 50도의 위상 증가가 일어났다. 이는 개펄에 토양 수분이 증가하자 19ns에서의 산란 중심이 점차 개펄의 표면으로 다시 상승한 것으로 해석될 수 있어서, 마이크로파의 침투 효과를 반증해주었다.

사사

IV. 결론

Radarsat-1 DInSAR 일차 분석 결과, 화용 간척지에서 2003년 9월 27과 10월 21일 사이에 건조 수축으로 인한 수직 지반 침하가 최대 30mm 발생한 것으로 보이는 신호가 관측된 바 있으나 (Lee and Chi, 2004), 마이크로파 산란계를 이용한 실내 실험 결과, 최대 건조시 약 4mm의 마이크로파 토양 침투가 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 인공위성 DInSAR를 통한 연약지반 정밀 계측시 토양 특성에 따른 마이크로파의 침투 현상을 반드시 고려해야 함을 증명하였고, 마이크로파 산란계를 이용한 현장 및 실내 실험으로 이를 보정할 수 있을 것이다.

이 연구는 한국지질자원연구원의 2006년도 “지하 정밀 영상화 융합기술 개발” 사업의 지원을 받았다.

참고문헌

Lee, H. and Chi, K. H., 2004. Contraction of a newly reclaimed mudflat detected by differential SAR interferometry, *International Symposium on Remote Sensing (ISRS) 2004, Jeju, Korea*.

Ulaby, F. T. and Whitt, M. W., 1990. AVNA-Based Polarimetric Scatterometers, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 28, no. 1, pp. 6-17.

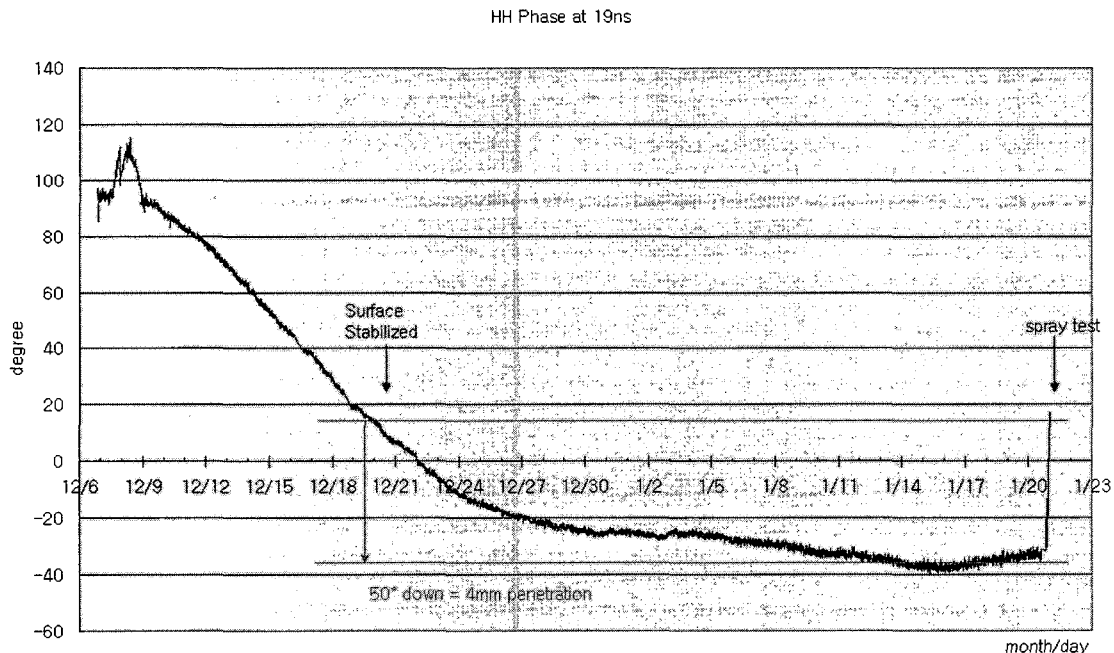


그림 1. 시간에 따른 개펄 샘플 중심부(19ns)의 HH-편광 위상 변화. 샘플의 침하 및 건조가 중지된 후 안정화 상태로 건조되면서 50도의 위상이 내려가, 약 4mm의 마이크로파 토양침투 발생.