

GB-SAR의 간섭기법을 통한 물체의 변위 측정 및 대기보정

A Measurement of Target Displacement by Using GB-SAR Interferometry and Atmospheric Correction

이재희⁽¹⁾, 이훈열⁽¹⁾, 조성준⁽²⁾, 성낙훈⁽²⁾, 김정호⁽²⁾

Jae-Hee Lee, Hoonyol Lee, Seong-Jun Cho, Nak-Hoon Sung,
and Jung-Ho Kim

(1) 강원대학교 지구물리학과, (2) 한국지질자원연구원 지반안전연구부
zackvoice@kangwon.ac.kr, hoonyol@kangwon.ac.kr, mac@kigam.re.kr,
nhsung@kigam.re.kr, junggho@kigam.re.kr

Abstract: 본 논문에서는 GB-SAR의 간섭기법을 이용하여 물체의 변위 측정에 대한 정밀도를 조사하였으며, 또한 대기보정을 거친 후 정밀도의 변화에 대해서 확인하였다. GB-SAR 시스템에서 안테나는 중심주파수 5.3 GHz, 밴드 폭 600 MHz인 C밴드 안테나를 사용하였고, 신호의 증폭을 위해 마이크로파 앰프를, 다편파 측정 및 분석을 위하여 스위치를 장착하였다. 레일의 총 길이는 5 m, 이동간격은 5 cm, 최대 관측 거리는 약 200 m이다. 변위 측정에 사용된 이동산란체는 trihedral corner reflector로서, 시스템 전방 약 160 m에 위치하며 시스템 방향으로 1 mm에서 40 mm 전진시켰다. 이동산란체의 실제 변위와 GB-SAR 시스템의 위상변화로 관측된 변위의 상관계수는 편파에 따라 0.9995에서 0.9996으로 나타났다. 마이크로파의 전파과정에서 거리와 습도에 따른 지연 효과를 고려하기 위하여 대기보정식을 구하였으며, 이를 이동산란체의 위상에 적용한 결과 상관계수는 0.9997에서 0.9999의 값을 나타냈고 40 mm 이동시 오차가 1 mm 이내를 나타냄으로서 대기보정을 통한 결과가 더 높은 정밀도를 나타냄을 확인하였다.

1. 서론

GB-SAR (Ground-Based Synthetic Aperture Radar)는 인공위성이나 항공기 SAR의 원리를 지상에서 적용한 것으로서, 레일 시스템을 이용하여 정밀한 반복 측정이 가능하다는 큰 장점을 지닌다. 또한, 지상에서 운용하기 때문에 설치 장소와 안테나, 중심주파수 등의 시스템의 선택

및 변화가 용이하다(이훈열 외, 2007). SAR 간섭기법(interferometry)은 SAR 영상이 얻어지는 시간, 안테나의 공간적 위치, 혹은 중심 주파수를 달리하여 영상을 얻고, 영상간의 위상차를 이용하여 산란체의 움직임이나 지형 고도를 알아내는 기술이며, GB-SAR를 이용하여 다양한 간섭기법을 구현할 수 있다(이훈열 외, 2007). 본 논문에서는 GB-SAR 간섭기법을 이

용하여 이동산란체의 변위를 측정하였고, 이를 실제 변위와 비교하였다. 또한 대기 중 습도 변화에 따른 마이크로파의 전파에 대한 지연효과를 보정함으로써 변위 정밀도를 높일 수 있음을 보이고자 한다.

2. 연구방법

이 연구에 사용된 GB-SAR 실험은 2007년 7월 18일 오후 3시부터 6시 30분까지 대전에 위치한 지질자원연구원 내에서 실시되었다. 연구원의 옥상에 시스템을 설치하였고, 측정 시 사용된 시스템의 구체적인 특징은 Table 1과 같다. 이 때 관측 범위는 연구원의 잔디밭 일대로 부채꼴 모양을 하고 있으며 최대 관측거리는 200 m이다(Fig. 1). 관측방향의 약 90 m 지점에 언덕과 나무가 있고, 120 ~ 150 m 지점에는 지자기 관측함이 위치하고 있다. 대기보정을 위한 고정산란체로는 90 m 지점의 나무와 120 m, 150 m에 위치한 지자기 관측함을 이용하였으며, 이는 Fig. 1에 체크모양으로 표시하였다. 이동산란체로 쓰인 trihedral corner reflector는 약 160 m 지점에 위치시켰으며, Fig. 1에서 삼각형으로 표시하였다. 이동산란체를 시스템 방향으로 1 mm, 6 mm, 10 mm, 30 mm, 40 mm를 이동하면서 각각 GB-SAR로 영상화하였다.

GB-SAR영상은 VNA를 통해 얻은 raw data를 gbsar라는 프로그램을 이용하여 Deramp-FFT algorithm로 처리하였으며, VV, VH, HV, HH의 모든 편파에 대해 얻어졌다. Fig. 2는 이 중에서 HH편파의 영상을 나타내며, 타원으로 표시된 지역이 이동산란체에 의한 신호이다.



Fig. 1. GB-SAR 시스템의 관측범위(Google Earth)

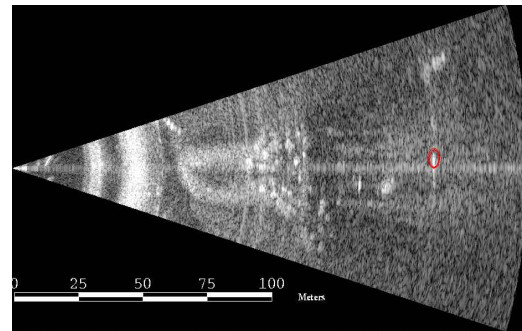


Fig. 2. Deramp-FFT algorithm를 통한 HH편파의 GB-SAR image

Table 1. 측정 조건

Center frequency	: 5.3 GHz
Range bandwidth	: 600 MHz
IF BW	: 1 KHz
Number of points	: 1601
Power	: 1. Calibration
	: VNA -40 dBm + Amp 33 dBm
	2. Acquisition
	: VNA 0 dBm + Amp 33 dBm
Azimuth Step	: 5 cm
Azimuth length	: 5 m

2.1 GB-SAR영상에서의 변위 추출

GB-SAR 영상에서 위상 ϕ 는 라디안 (radian)의 단위를 가지며, 다음과 같이 거리의 함수이다.

$$\phi = -\frac{4\pi}{\lambda}R \quad (1)$$

이 때, 어떤 물체가 시스템 방향으로 이동했다면 이때의 변위 변화율은

$$\frac{\partial \phi}{\partial R} = -\frac{4\pi}{\lambda} \quad (2)$$

로 나타나며, 단위는 radian/m이다. 이 실험에서 사용 안테나는 주파수가 5.3 GHz로, 파장 λ 는 0.0566 m이며 변위변화율은 -0.222 radian/mm이다.

먼저, 모든 편파의 영상에서 이동산란체에 의한 위상을 추출하였다. 위상은 $-\pi$ 에서 π 사이의 값을 나타내게 되는데, (1)에 의하여 위상을 거리 R의 값으로 변환시키기 위해서는 위상 변화의 규칙성을 찾아 $2\pi \times n$ (n은 정수)만큼 더해주거나 빼주는 unwrapping 과정이 필요하다. 이때, 변위가 음수를 나타내는 것은 이동산란체가 시스템 방향으로 움직였다는 것을 의미한다.

2.2 측정변위와 실제변위의 비교

위와 같은 방법으로 모든 편파에 대하여 이동산란체의 변위를 GB-SAR 위상을 통해 추출하였다. Fig. 3은 GB-SAR로 측정된 변위와 실제변위를 비교하여 그래프로 표현한 것이다(HH 편파만 표시). x축은 이동산란체의 실제변위, y축은 GB-SAR 영상을 통해 측정된 변위로서, co-pol인 HH, VV 편파의 상관계수는 동일하게 0.9995를 나타냈으며, cross-pol인 VH와 HV 편파의 상관계수 역시 동일하게 0.9996의 값을 나타냈다. 모든 편파에서 비교적 높은 상관계수를 보이고 있으나, 이 실험에서의 최대 변위인 40mm에서는 2-3mm의 오차를 보이고 있다.

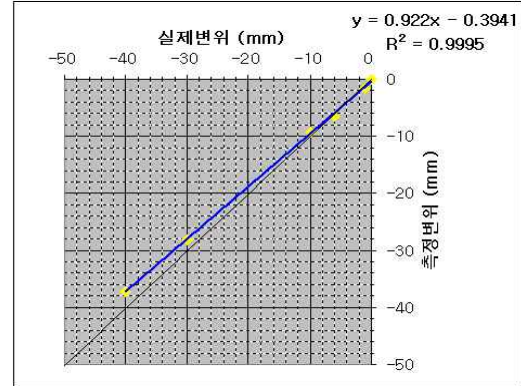


Fig. 3. HH편파의 측정변위와 실제변위의 비교

2.3 대기보정

GB-SAR의 경우 마이크로파의 전파거리가 짧아 인공위성이나 항공기 SAR에 비하여 대기에 의한 영향이 크지는 않지만 mm 단위의 미세한 변위 측정 시 영향을 끼칠 수 있으므로 대기 보정이 필수적이다. 대기 요소 중 마이크로파의 전파속도에 영향을 주는 가장 큰 요인은 습도이다 (Noferini *et al.*, 2005). 측정 시 대기 중 습도 자료는 실험 장소에서 1 km 떨어진 대전지방기상청의 분 단위 습도 자료를 평균하여 사용하였다. 선정된 고정산란체에서 96개의 위상값(4 targets \times 4 편파 \times 6회 측정)을 거리에 따라 나누고 이를 습도와 비교하여 Fig. 4에 나타냈다. 그 결과 일차식으로 근사할 수 있었으며, 이를 통하여 습도와 거리에 따른 대기보정식을 다음과 같이 구했다.

$$\phi(R, h) = -4\pi R(ah + b) \quad (3)$$

여기서, h 는 습도(%), $a = 3.44 \times 10^{-5}$, $b = -1.64 \times 10^{-3}$ 으로 근사되었다. 이를 이용하여 이동산란체의 변위에 따른 위상을 보정하였으며, 보정 후의 측정변위와 실제 변위를 비교하여 Fig. 5에 나타내었다(HH 편파만 표시). 그 결과, HH와 VV편파의 상관계수는 0.9999로, VH와 HV 편파의

상관계수는 0.9997로 향상되었으며, 40 mm 변위 시 오차도 1 mm 이하로 나타났다.

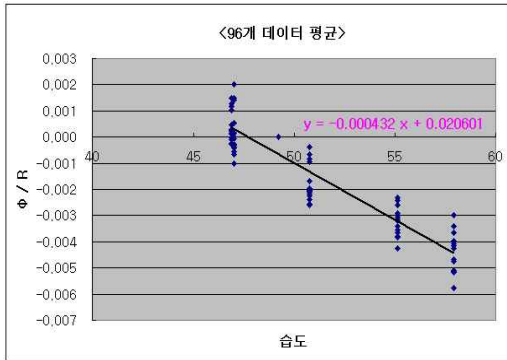


Fig. 4. 보정 Algorithm 생성

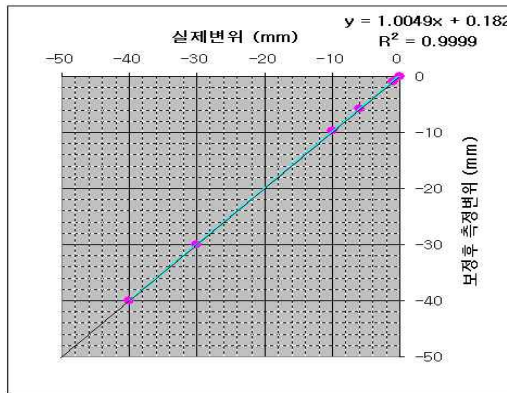


Fig. 5. HH편광의 보정 후 측정변위와 실제변위의 비교

3. 결론

GB-SAR의 간섭기법을 이용하여 약 160 m 지점에 위치한 산란체의 움직임을 측정하였을 때, 측정 변위와 실제 변위의 상관계수는 co-pol은 0.9995, cross-pol은 0.9996이었으며, 40 mm 변위시 2-3 mm의 오차가 나타났다. 대기보정 후의 상관계수는 co-pol은 0.9999, cross-pol은 0.9997로 향상되었으며, 40 mm 변위 시 오차 또한 1 mm 이하로 향상됨을 알 수 있었다. 따라서, GB-SAR를 이용한 변

위 측정 시 대기 보정, 특히 습도에 대한 보정이 반드시 필요함을 알 수 있었다.

한편, 편파에 따라 상관계수 및 오차 범위에 미세한 차이를 나타냈는데, 이는 여러 가지 요인으로 설명될 수 있다. 먼저, 고정산란체로 선정된 목표물이 정형화된 물체가 아니었기 때문에 편파에 따른 산란 특성의 차이를 보일 수 있으며, 또한 선정 과정에서 오차가 있을 수 있었다. 이는 고정산란체를 trihedral corner reflector로 교체하여 실험하면 오차를 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 편파에 따라 대기(습도)의 영향이 달라진다는 연구 결과는 아직까지 찾아볼 수 없었다.

4. 감사의 글

이 연구는 한국지질자원연구원의 2007년 GB-SAR 시스템 영상화 기법 개발 II의 지원으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- 이훈열, 조성준, 성낙훈, 김정호, 2007. GB-SAR의 개발(I): 시스템 구성과 간섭기법, *Korean Journal of Remote Sensing*, 23(4):237-245.
- 이훈열, 조성준, 성낙훈, 김정호, 2007. GB-SAR의 개발(II): 영상화 기법, *Korean Journal of Remote Sensing*, 23(4):247-256.
- Noferini L., M. Pieraccini, D. Mecatti, G. Luzi, C. Atzeni, A. Tamburini and M. Broccolato, 2005. Permanent Scatterers Analysis for Atmospheric Correction in Ground-Based SAR Interferometry, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(7): 1459-1471