

# GB-SAR 시스템의 개발과 응용

이훈열<sup>1</sup>, 조성준<sup>2</sup>, 성낙훈<sup>2</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 지구물리학과 (hoonyol@kangwon.ac.kr)

<sup>2</sup>한국지질자원연구원 지반안전연구부 (mac@kigam.re.kr, nhsung@kigam.re.kr)

## Development and Application of a GB-SAR System

Hoonyol Lee<sup>1</sup>, Seong-Jun Cho<sup>2</sup> and Nak-Hoon Sung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Geophysics, Kangwon National University

<sup>2</sup>Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

**Abstract.** GB-SAR (Ground-Based Synthetic Aperture Radar) 시스템은 지상에서 안테나의 정밀한 일축 제어를 통해 합성 구경(synthetic aperture) 효과를 얻어 높은 해상도의 영상을 얻는 레이더 스캐너(Radar Scanner)의 일종이다. GB-SAR는 장기간에 걸쳐 안정적으로 마이크로파 영상 및 위상을 얻을 수 있기 때문에, SAR 간섭기법(interferometry)을 통하여 비교적 안정된 산란체의 시간에 따른 변위를 cm 혹은 mm 정밀도로 정량적으로 얻을 수 있으며, 또한 긴밀도(coherence)를 통해 산란체의 안정성을 정성적으로 추출해 낼 수 있다. 이 논문에서는 GB-SAR 시스템의 개발을 소개하고 여러 가지 영상 획득 모드를 통하여 얻어진 SAR 영상, DInSAR, Cross-Track InSAR,  $\Delta k$ -InSAR, PSInSAR, 및 SAR Polarimetry 등 GB-SAR 시스템의 다양한 응용 가능성을 간략하게 보였다.

### 1. 서론

GB-SAR는 레일과 같이 지상에서 안정적인 안테나의 움직임을 통하여, 항공기 및 인공위성에 탑재되어 운용되는 일반적인 SAR 시스템과 유사한 영상 획득 원리로 산란체의 마이크로파 반사 신호를 측정할 수 있는 지상 SAR 시스템이다. 이를 통하여 지상 산란체에 의한 마이크로파 위상의 변화를 장기간 관측하여 지반 침하량 계측, 사면 안정성 평가 및 눈사태 감지와 같은 인공 및 자연 구조물의 안정성을 판단하는 목적으로 사용될 수 있다.

영국, 이탈리아, 일본 등을 비롯한 전 세계 몇몇 연구실에서 개발하여 운영 중인

GB-SAR는 대체로 기술 개발 초기 및 시험운용 단계에 있으며, 국내에서는 최초로 이번 연구를 통하여 시도되었다. GB-SAR는 항공기 및 인공위성 SAR의 지상 검보정 및 개념 설계용으로 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 독자적으로도 새로운 응용성을 찾을 수 있는 유망한 기술이다.

이 논문에서는 강원대와 한국지질자원연구원의 협력으로 설계 제작된 GB-SAR 시스템을 소개하고, 다양한 모드의 영상 획득을 통하여 SAR의 편광기법(polarimetry) 및 간섭기법(interferometry)을 시험적으로 구현한 내용을 간략히 소개하고자 한다.

## 2. GB-SAR 시스템

GB-SAR 시스템은 지상에서 안테나가 레일 위를 이동하면서 합성 구경(synthetic aperture)을 이루어 고해상도의 SAR 영상화(SAR Focusing)를 가능하게 하는 방식이다. GB-SAR에서는 안테나가 레일을 따라 스텝 모터를 이용하여 측정 위치로 움직인 후 정지해 있는 상태에서 마이크로파 송수신이 이루어지기 때문에, 자연스럽게 중심 도플러가 영(zero-Doppler)이 된다. 특히 반복 측정이 매우 정밀하게 제어될 수 있어서, zero-baseline이 실현되어 위상기법을 통한 산란체 움직임을 포착하는데 용이하다.

GB-SAR 시스템은 크게 RF 부분과 모션 부분으로 나눌 수 있으며, 모든 제어 및 측정이 노트북 컴퓨터를 통해 자동으로 이루어진다.

RF 부분은 주로 네트워크 분석기, 앰프, 스위치, 송수신 안테나로 이루어져 있다. 이들은 노트북 컴퓨터와 GPIB-USB로 연결되어 있다. 시스템에는 송신과 수신을 각각 담당하는 두 개의 안테나가 있다. 각각의 안테나는 Dual-Mode Transducer를 이용한 Dual-Polarization Square Horn Antenna로서, 대역은 5-5.6GHz, 중심 주파수는 5.3GHz로서 ERS-1/2, Envisat, Radarsat-1과 같은 인공위성 SAR 영상과 동일한 C-band를 사용하도록 설계되었다. 송신과 수신 편광은 마이크로파 스위치를 이용하여 자동으로 제어되어 다중 편광(VV, VH, HV, HH) 자료를 획득할 수 있다. 네트워크 분석기는 Agilent 8753ES로서 30kHz-6GHz까지 사용이 가능하다. Calibration kit을 이용하여 시스템을 보정할 수 있으며, 시간영역으로의 변환이 가

능하다.

모션 부분은 2m 길이의 레일을 3개 연결하여 총 6m의 레일을 만들었다. 모션 컨트롤러 및 스텝 모터를 이용하여 안테나의 수평적 혹은 수직적 이동이 가능하도록 하여, 수평적 이동은 SAR 영상화에, 수직적 이동은 Cross-Track InSAR를 구현하기 위한 baseline을 만들 수 있도록 설계하였다.

GB-SAR 시스템은 합성 구경의 길이가 레일의 길이로 제한되어 있다는 점에서 항공기 및 인공위성 SAR와는 크게 다르다. 항공기 및 위성 SAR에서는 합성 구경의 길이가 안테나의 빔 폭과 같다는 의미에서 full focusing이라 할 수 있으며, 해상도는 거리에 상관없이 안테나 실구경의 절반으로 최적화 된다. 그러나 GB-SAR는 레일에 근접한 거리를 제외한 대부분의 이미지 영역에서 합성구경이 레일의 길이로 제한되기 때문에 partial focusing이라 할 수 있으며, 해상도 역시 거리의 함수이다. GB-SAR focusing 알고리즘은 처리 시간과 메모리를 고려하여, 근거리용으로는 일반적인 인공위성 SAR에 사용되는 Range-Doppler (RD) 알고리즘을 사용하였고, 원거리용으로는 Deramp-FFT (DF) 알고리즘을 사용하도록 프로그램을 개발하였다. 이 논문에서는 원거리에서 처리 시간과 메모리 면에서 우수한 DF로 처리한 결과만을 사용하였다.

## 3. GB-SAR 실험

GB-SAR는 그림 1에서와 같이 한국지질자원연구원의 동쪽 건물 옥상에 설치하여 가시거리를 확보하고, 아래와 같은 조건으로 4회(T1~T4) 측정하였다.

T1: Original (Center frequency=5.3 GHz, Bandwidth=200 MHz, Power=33 dBm, rail scan=5 m, step=5 cm).

T2: Temporal baseline of 20 minutes.

T3: Spatial baseline of -30 cm vertical.

T4: Frequency baseline (or  $\Delta k$ ) of -10MHz

Fig. 2는 Ikonos 위성으로 촬영된 연구 지역으로서, GB-SAR로 영상화된 영역이 아크 모양으로 표시되어 있다. Fig. 3-5는 T1 실험에서 영상화된 VV, VH, HH Amplitude 영상으로서, 거리 해상도는 0.75m이고, azimuth 해상도는 100m 거리에서 0.57m, 최대 거리인 600m에서는 3.40m이다. HH 영상에서는 송수신 안테나의 배열로 인한 영향으로 수평선 모양의 에러가 나타났다. Fig. 6은 HH와 VV의 normalized polarimetric ratio로서, 물기가 많은 잔디에서 높은 값을 보이는 등, SAR 편광 기법의 예를 보여주고 있다. Fig. 7은 T2-T1의 위상차로서, DInSAR의 예를, Fig. 8은 T3-T2의 위상차로서 Cross-Track InSAR, Fig. 9는 T4-T3 위상차로서 Delta-K InSAR의 예이다. Fig. 10은 T4-T2의 위상차로서 Cross-Track InSAR와 Delta-K InSAR의 원리가 한꺼번에 포함된 것으로서, 모두 위상간섭기법의 이론적 계산 값과 일치하는 위상 패턴이 관측되었다. 또한 약 4시간 동안 10회 이상 연속 측정 결과, 인공 구조물과 같은 안정된 산란체에서는 위상이 1도 이하 (0.08mm 거리 변화에 해당)의 안정성을 보여, GB-SAR 시스템이 DInSAR 혹은 PSInSAR로 장기 관측시 1mm의 정밀도가 충분히 확보됨을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

GB-SAR는 지상 시스템의 안정성과 유

연성 덕분에 다양한 영상 획득 모드를 구현할 수 있으며, 다파장 및 다편광 SAR 영상, DInSAR, Coherence, Cross-Track InSAR,  $\Delta k$ -InSAR, PSInSAR 및 SAR Polarimetry 등 SAR 기술의 거의 모든 분야에 있어서 응용의 가능성을 보여주고 있다. 이 시스템은 향후 자연 및 인공 구조물의 안정성 계측, DEM 제작, 산란체의 물성 조사와 같은 실용적 측면에 근접해 있으며, 새로운 SAR 시스템의 개념 설계에도 유용할 것으로 전망된다.

사사- 이 연구는 2006년도 한국지질자원연구원의 전문연구사업인 '지하정밀 영상화 융합기술 개발'의 지원을 받았다.



Fig. 1. GB-SAR system and test field view



Fig. 2. Test site seen from space with a 600m-radius arc image area (© Google Earth)

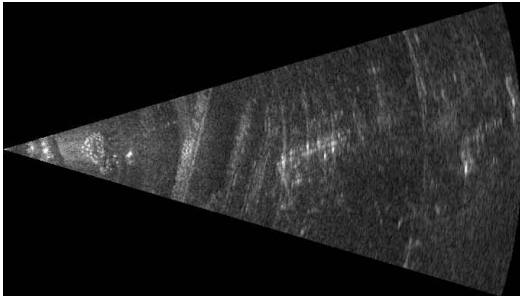


Fig. 3. GB-SAR Amplitude, T1, VV

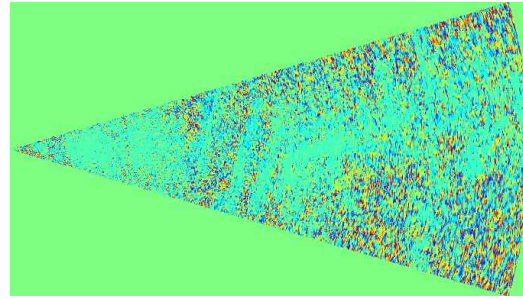


Fig. 7. DInSAR, T2-T1, VV

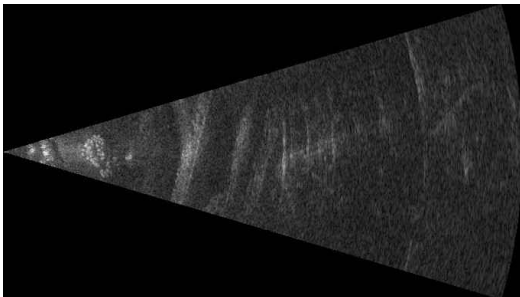


Fig. 4. GB-SAR Amplitude, T1, VH

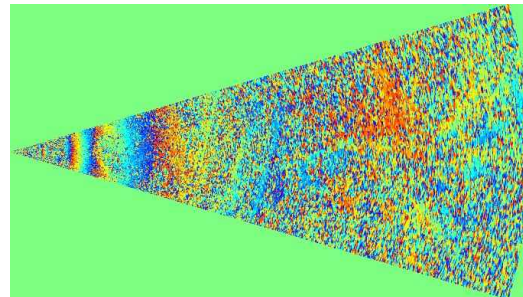


Fig. 8. Cross-Track InSAR, T3-T2, VV

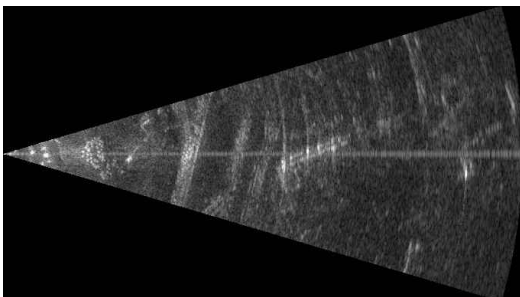


Fig. 5. GB-SAR Amplitude, T1, HH

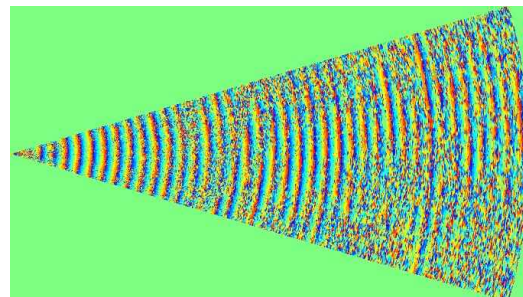


Fig. 9. Delta-K InSAR, T4-T3, VV

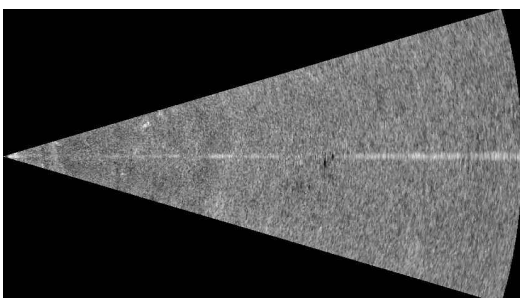


Fig. 6. Normalized Polarimetric Ratio, T1,  $(HH-VV)/(HH+VV)$

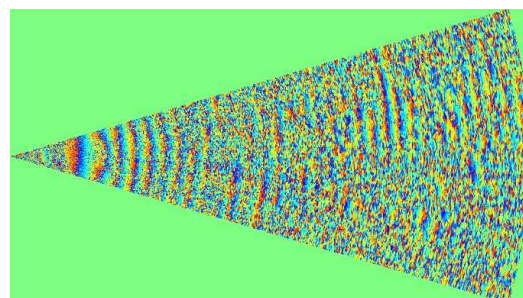


Fig. 10. Cross-Track and Delta-K InSAR, T4-T2, VV