

지반 변형 모니터링을 위한 Ground Based-SAR 시스템 개발

조성준¹⁾ · 이훈열²⁾ · 성낙훈³⁾ · 김정호⁴⁾

1. 서론

합성 구경 레이더(Synthetic Aperture Radar, SAR)는 인공위성이나 항공기에 장착된 레이더를 통해 마이크로파를 지상에 복사 시켜 지표면의 기하(geometry), 표면 거칠기(surface roughness), 유전상수 차이에 의해 되돌아오는 후방산란의 크기를 영상화하는 기법으로, 구름이나 비와 같은 기상 조건이나 태양 고도의 제약을 받지 않는 전천후 고해상도 영상 레이더이다. 1951년 Goodyear Aircraft Corporation의 Carl Wiley에 의해 SAR 원리가 정립된 이래로 현재까지 다양한 시스템 및 활용 분야에 걸쳐 비약적인 발전을 이루었으며, 현재 국내외에 많은 연구가 진척되고 있다(이훈열, 2006).

GB(Ground Based)-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. 최근 유럽과 일본에서는 LISA 및 GBInSAR 시스템을 이용해 산사태 지역을 간섭기법을 통해 모니터링 한 연구결과를 발표 한 바 있으며 (Leva et al., 2003; Martinez-Vazquez and Fortuny-Guasch, 2006, Leva et al., 2005), 일본과 호주에서는 Pol-GB-SAR (Polarimetric GB-SAR)와 In-GB-SAR (Interferometric GB-SAR) 시스템 개발(Hamasaki et al, 2005; Zhou and Cloude, 2005)이 발표된 바 있으며, 전 세계적으로 기술개발 초기 및 시험운용 단계라 할 수 있다. 한국지질자원연구원과 강원대학교는 공동 연구를 통해 국내 최초로 GB-SAR 시스템을 개발하였으며, 현재 이 시스템을 시험운용하고 있다. 이 시스템은 지반침하나 산사태, 댐 안정성 모니터링 등의 실증 실험을 통해 적용성을 평가할 예정이며, 향후 항공기 및 인공위성 SAR의 지상 검보정 및 개념 설계용으로 사용될 수 있을 것이다.

이 논문에서는 개발된 GB-SAR 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어 구성을 설명하고 한국지질자원연구원 본관 옥상에서 수행한 실험결과를 소개 한다

2. GB-SAR 시스템의 하드웨어 구성

GB-SAR 시스템은 지상에서 안테나가 레일 위를 단위 간격씩 이동하면서 획득된 자료로 합성 구경(synthetic aperture)을 이루어 고해상도의 SAR 영상화(SAR Focusing)을 얻는 시스템으로 하드웨어의 구성은 그림 1과 같다. 벡터 네트워크 분석기에서 발생된 스텝 주파수 신호가 RF 파워앰프에서 증폭된 후 RF 스위치를 거쳐 분극(Polarimetric) 송신안테나를 통해 복사되게 된다. 지표면에 의해 반사된 반사파는 분극 수신 안테나와 RF 스위치를 거쳐 벡터 네트워크 분석

주요어: GB-SAR, Interferometric, Polarimetric, 네트워크 분석기

- 1) 한국지질자원연구원 지반탐사연구실 (mac@kigam.re.kr)
- 2) 강원대학교 지구물리학과 (hoonyol@kangwon.ac.kr)
- 3) 한국지질자원연구원 지반탐사연구실 (nhsung@kigam.re.kr)
- 4) 한국지질자원연구원 지반탐사연구실 (junghe@kigam.re.kr)

기를 통해 획득되며, GPIB 인터페이스로 연결된 PXI를 거쳐 노트북에 도시된다. 한편 한 위치에서 자료가 획득된 후 측정 시스템은 PXI의 모션 컨트롤에 의해 제어되는 스텝 모터에 의해 레일을 따라 다음 위치로 이동하게 된다.

일반적인 SAR 시스템에서는 FM 변조된 Chirp 신호를 송신원으로 사용하며, 저주파수로의 주파수 변환을 통해 수신 신호를 디지털화하게 된다. 이를 위해서는 임의의 함수 발생기와 변조회로, 믹서, 국부발진기 등이 필요하며, 이를 튜닝하기 위해서 전문적인 전자공학적인 지식이 필요하다. GB-SAR 시스템은 인공위성이나 항공기 SAR처럼 빠른 자료 획득이 요구되지 않기 때문에 측정시간은 느리지만 별도의 전문적인 하드웨어 지식이 없어도 RF 대역의 송, 수신기 역할이 가능한 벡터 네트워크 분석기를 사용하여 시스템을 구축하였다. 벡터 네트워크 분석기는 주어진 구간의 주파수 영역에서 주파수를 스위핑하여 송신을 하며, 수신기에서는 각각의 주파수에서 송신파형에 대한 수신파형의 세기와 위상변화를 측정하게 된다(조성준 등, 2002). 이 연구에 사용된 벡터 네트워크 분석기는 Agilent사의 8753ES 모델로 주파수 범위는 30kHz에서 6 GHz이며, 시스템 임피던스는 50 ohm, 시스템 다이내믹 레인지는 110 dB, 송신부의 송신전력은 -85 dBm~10 dBm 이다.

RF 앰프는 2W 파워에 최대 33dB의 증폭이 가능하며, 최대 증폭일때 가능한 최대 입력은 6 dBm이며, 주파수 대역은 2GHz~ 6GHz 이다. 송·수신안테나는 Ortho-Mode Transducer를 이용한 Dual-Polarization(H, V-분극) 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.

벡터 네트워크 분석기의 port 1을 안테나의 V-분극 커넥터에 port 2를 안테나의 H-분극에 연결하여 s11, s12, s21, s22를 측정하면 바로 Polarimetric GB-SAR의 구현이 가능하나 파워 앰프를 사용하게 되면 앰프의 비가역 특성에 의해 송신안테나를 수신안테나로 동시에 사용하는 것이 불가능하게 된다. 따라서 송신 안테나와 수신 안테나 두개의 안테나가 필요하며 RF 스위치를 이용한 스위칭으로 Full polarimetric(VV, VH, HV, HH)을 구현하게 된다. 사용된 RF 스위치는 주파수 통과대역이 20 GHz 까지인 3중 1x2 SPDT 타입이다.

GB-SAR에서는 안테나가 레일을 따라 스텝 모터를 이용하여 측정 위치로 움직인 후 정지해 있는 상태에서 마이크로파 송수신이 이루어지기 때문에, 시스템의 위치 제어가 매우 중요하다. 이 연구에서는 2m 길이의 레일을 3개 연결하여 총 6m의 레일을 만들었으며, 모션 컨트롤러 및 마이크로 스텝 모터를 이용하여 안테나의 수평적 혹은 수직적 이동이 가능하도록 설계하였다.

3. GB-SAR 시스템의 측정 소프트웨어 구성

측정 소프트웨어는 그래픽 기반의 프로그래밍 언어 LabVIEW™을 이용하여 만들었다. 측정 소프트웨어 모듈은 벡터 네트워크 분석기와 RF 스위치를 제어하는 부분, 모션 컨트롤 부분으로 나뉘어 진다. 벡터 네트워크 분석기의 제어는 PXI에 연결된 GPIB 인터페이스를 통해 GPIB 명령어에 의해 이루어 진다. 문자열로 이루어지는 자료획득 GPIB 명령을 네트워크 분석기로 보내면 이를 받은 네트워크 분석기가 트리거링을 하고 각 주파수 별로 실수성분과 허수성분의 데이터를 얻기 시작한다. Full polarimetric으로 자료를 획득하는 이 시스템에서는 사전에 각각의 분극에 맞는 보정파일을 작성하여 저장하고 있다가 RF 스위치의 변환에 맞추어 각각 분극에 맞는 보정파일을 call 하여 사용한다. 한 지점에서 측정된 4개 분극 자료는 각기 네 개의 화면에 주파수에 따른 로그 세기 형태로 도시되며, 동시에 FFT를 통해 실시간 시간영역 자료가 도시되어 측정 자료의 Quality Control을 하기가 용이하게 설계 되어 있다.

모션 컨트롤은 스텝 모터의 속도와 가속도, 이동지점에 의해 제어되며, 보통 수 센티미터 간격으로 자료를 획득하는데 이때 누적오차에 의해 첫 번째 B-scan 이후에 원래의 위치로 돌아가면 약간의 오차가 존재하게 된다. 이를 해결하기 위해 home 스위치를 시작점으로 하여 각 B-scan 마다의 상대적 위치가 변하지 않도록 하였다.

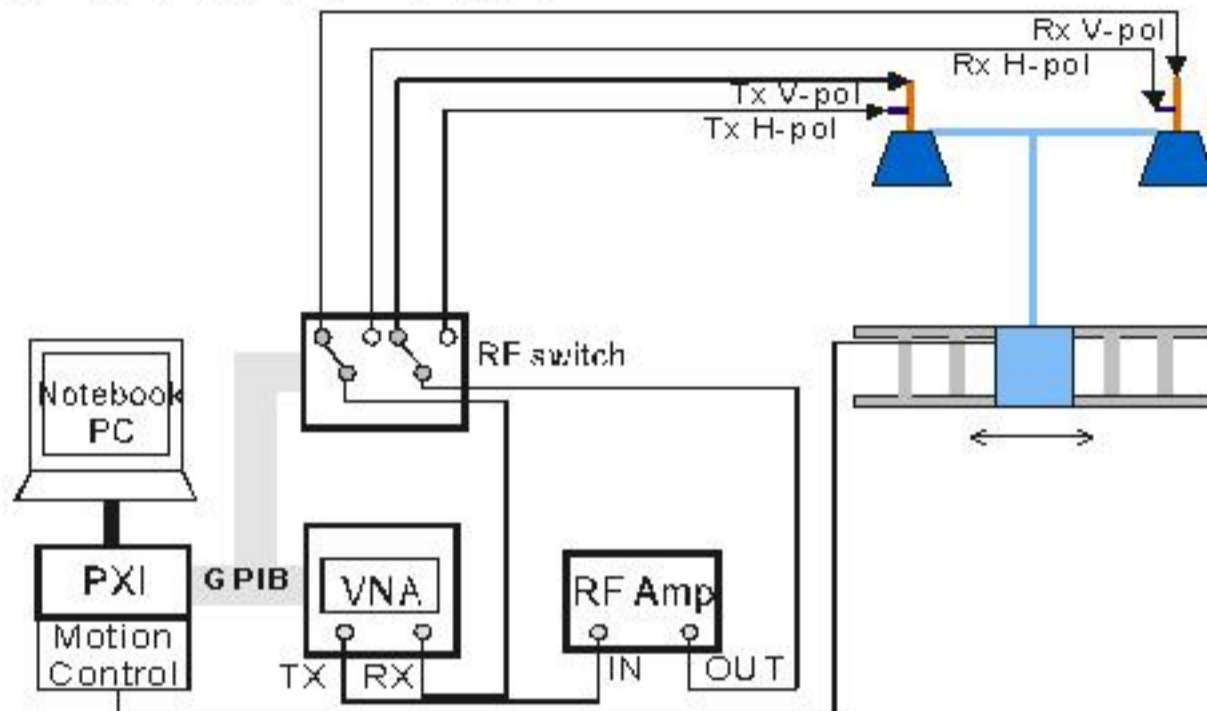


그림 1. GB-SAR 시스템의 구성도

4. 실험 결과 및 향후 과제

GB-SAR 시스템의 가능성을 확인하기 위한 실험을 수행하였다. 그림 2 (a)에서와 같이 한국지질자원연구원의 동쪽 건물 옥상에 설치하여 가시거리를 확보하고, 아래와 같은 조건으로 2회 (T1~T2) 측정하였으며, 그림 2 (b)는 이때 측정 영역이다.

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.

GB-SAR focusing 알고리즘은 처리시간과 메모리를 고려하여, 근거리용으로는 일반적인 인공 위성 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.



(a)

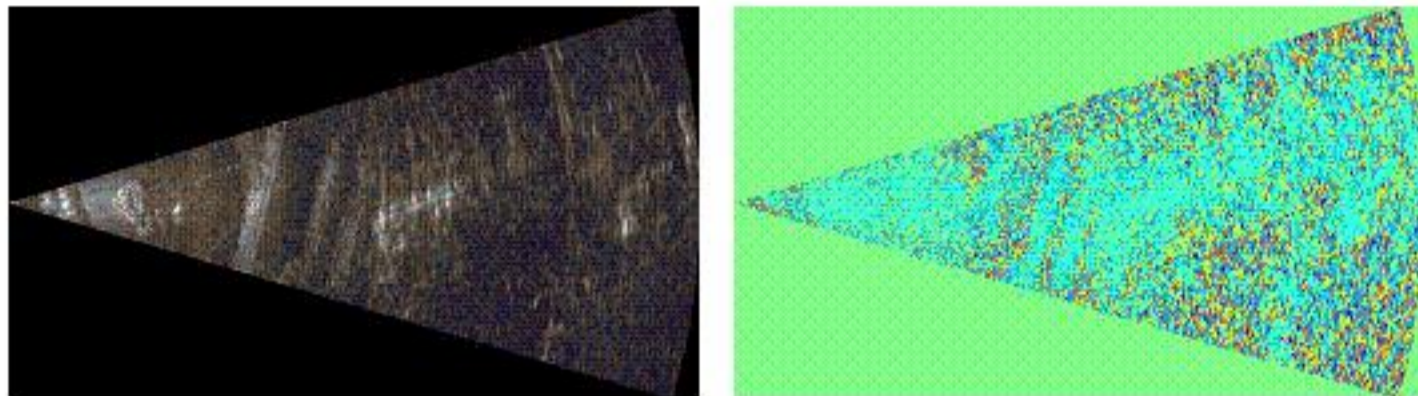


(b)

그림2. (a)한국지질자원연구원에서의 측정실험 및 (b) 위성영상으로 본 측정 영역(©Google earth)

그림 3 (a)는 T1 실험에서 영상화된 VV로서 거리 해상도는 0.75m이고, azimuth 해상도는 100m 거리에서 0.57m, 최대 거리인 600m에서는 3.40m이다. 그림 3(b)는 T2-T1의 위상차로서, DInSAR 결과로 안정된 산란체에서는 위상이 거의 변화가 없음을 확인할 수 있다.

GB-SAR는 지상 시스템의 안정성과 유연성 덕분에 다양한 영상 획득 모드를 구현할 수 있으며, 다과장 및 다편광 SAR 영상, DInSAR, Coherence, Cross-Track InSAR, Δk -InSAR, PSInSAR 및 SAR Polarimetry 등 SAR 기술의 거의 모든 분야에 있어서 응용의 가능하다. 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.



(a) GB-SAR Amplitude, T1, VV

(b) DInSAR T2-T1, VV

그림 3. GB-SAR를 적용성 실험 결과

사사- 이 연구는 2007년도 한국지질자원연구원의 전문연구사업인 '지하정밀 영상화 융합기술 개발'의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 이훈열, 2006, SAR 관련 논문 통계 분석에 의한 SAR 시스템, 기술, 활용분야 고찰, 대한원격탐사학회지, v.22, n.2, p. 153-174
- 조성준, 김정호, 이성곤, 손정술, 정승환, 2002, 네트워크분석기를 이용한 레이더 탐사 시스템의 구현, 물리탐사, v.5, n.4, p. 272-279
- Hamasaki, T., Sato, M., Ferro-Famil, L., and Pottier, E., 2005, Natural objects monitoring using Polarimetric Interferometric Ground-Based SAR (GB-SAR) system, in *Proc of IGARSS 2005*, Seoul 25-29 Jul, p. 4092-4099
- Leva, D., Nico, G., Tarchi, D., Fortuny-Guasch, J. and Sieber, A. J., 2003, Temporal analysis of a landslide by means of a ground-based SAR interferometer, *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, v.41, n.4, p.745-752
- Leva, D., Rivolta, C., Rossetti, I. B., Kuzuoka, S., and Mizuno, T., 2005, Using a ground based interferometric synthetic aperture radar(GBInSAR) sensor to monitor a landslide in Japan, in *Proc of IGARSS 2005*, Seoul 25-29 Jul, p. 4096-4099
- Marinez-Vazquez, A., and Fortuny-Guasch, J., 2006, Snow cover monitoring in the Swiss alps with a GB-SAR, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Society Newsletter*, March, p. 11-14
- Zhou, Z.-S., and Cloude, S. R., 2005, The development of a Ground Based Polarimetric SAR Interferometer(GB-POLInSAR), in *Proc of IGARSS 2005*, Seoul 25-29 Jul, 1097-1100