

# 습도변화에 따른 X-band GB-SAR 시스템의 위상지연

## Phase delay of X-band GB-SAR system affected by humidity change

이재희<sup>\*(1)(2)</sup>, 이훈열<sup>(1)</sup>, 조성준<sup>(2)</sup>, 성낙훈<sup>(2)</sup>

Jae-Hee Lee, Hoonyol Lee, Seong-Jun Cho, Nak-Hoon Sung,

(1) 강원대학교 지구물리학과

(2) 한국지질자원연구원 자원탐사개발연구실

[zackvoice@kangwon.ac.kr](mailto:zackvoice@kangwon.ac.kr), [hoonyol@kangwon.ac.kr](mailto:hoonyol@kangwon.ac.kr),

[mac@kigam.re.kr](mailto:mac@kigam.re.kr), [nhsung@kigam.re.kr](mailto:nhsung@kigam.re.kr)

Abstract: 본 논문에서는 X-band GB-SAR 시스템을 이용하여 지상을 모니터링 하였으며, 대기 중의 습도와 거리의 영향을 받는 대기보정 상수를 산출하였다.

시스템에서 X-band 안테나는 중심주파수 9.65 GHz, 밴드 폭 600 MHz이며, 신호의 증폭과 다편파 측정 및 분석을 위해 각각 마이크로파 앰프와 마이크로파 스위치를 이용하였다. Azimuth step과 length는 5 cm와 5 m로 최대 관측 거리는 약 200 m 이다. phase 분석에 쓰인 산란체는 총 5개의 trihedral corner reflector로서, 시스템으로부터의 거리를 각각 다르게 설정하였다. 실험은 3일간 연속적으로 수행되었으며, 실험간 상대습도는 최소 50 %에서 최대 90 %까지로 약 40 %의 변화를 보였다. 고정된 상태의 reflector는 마치 이동한 것과 같은 현상을 보였는데 이는 마이크로파의 전파과정에서 발생하는 거리와 습도에 따른 지연효과라고 판단하였으며, 이를 배제하기 위하여 대기보정식을 산출하였다. 산출과정에서 temporal coherence가 0.98 이하인 reflector의 신호는 제외하였는데 이 경우 시스템 및 reflector의 안정성에 문제가 있다고 판단하였기 때문이다. 산출된 대기보정식은 C-band 안테나를 사용한 실험과 비교하여 보았다.

### 1. 서론

GB-SAR (Ground-Based Synthetic Aperture Radar)는 인공위성이나 항공기의 이동궤적을 지상의 rail로 대체한 SAR system이다. 인공위성이나 항공기의 경우 정지가 불가능하여 펄스의 송신과 수신은 짧은 시간에도 플랫폼의 공간적 차이가 발생하여 신호처리의 복잡함과 정밀함이

다소 떨어지는 단점이 있지만, GB-SAR의 경우 rail 위에 위치한 플랫폼은 이동과 정지가 자유롭기 때문에 보다 정밀한 분석이 가능하다는 장점이 있다. GB-SAR는 지상에서 운용되므로 측정시간의 선택과 안테나의 위치 및 높이, 안테나의 교체가 자유롭다는 장점 또한 지닌다. 이러한 차이를 두고 측정한 GB-SAR의 interferometry 기법은 phase 차이를 이용

하여 물체의 미세한 움직임이나 사면·빌딩·댐 등의 안정성 판단에 적용이 가능하다고 알려져 있다. 본 논문에서는 총 5 개의 trihedral corner reflector를 포함하는 실험지역을 중심주파수 9.65 GHz의 x-band 안테나 GB-SAR 시스템을 이용하여 장기간 측정하여, 시간의 흐름에 따른 신호의 변화를 모니터링하였다. 또한, 신호의 변화와 습도의 변화에 대한 비교를 통하여 관계를 알아보려고 하였다.

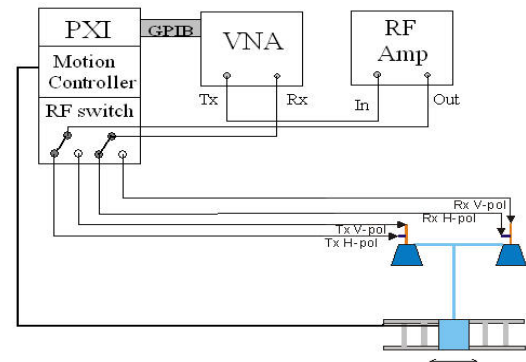


Fig. 1. GB-SAR 시스템 구성

## 2. 연구방법

### a. GB-SAR 시스템

6 m의 rail에 설치된 GB-SAR 시스템은 크게 VNA(Vector Network Analyzer)와 PXI, RF Amp 그리고 X-band 안테나로 구성되어 있다. VNA는 Agilent E8362B를 사용하였으며, 펄스의 송신과 수신을 담당한다. 이는 최대 20 GHz까지 신호처리가 가능하다. motion controller NI PXI-7344와 RF switch NI PXI-2599가 장착된 PXI는 labview 프로그램이 설치되어 있어 이를 통해 모션 제어를 담당하였으며, 획득된 data의 저장과 처리 시에도 사용되었다. 안테나는 중심주파수 9.65 GHz ( $\pm 500$  MHz) dual-polarization square horn 안테나를 사용하였는데, 측정거리와 측정시간, range resolution 등을 고려해 band폭은 600 MHz로 설정하였다. 사용된 2개의 안테나는 각각 송신과 수신을 담당하였는데, 송신 시 RF Amp를 통하여 33dBm을 추가하였다. Fig 1은 본 연구에서 쓰인 GB-SAR 시스템의 구성을 나타낸다.

### b. 실험지역 및 parameter

실험은 2009년 2월 6일 오후 7시부터 8일 오후 3시까지 총 123 번 연속으로 대전에 위치한 지질자원연구원 내에서 수행되었다. 시스템은 연구원의 옥상에 설치되었으며, 관측방향은 연구원의 잔디밭이다. 실험 간 parameter는 다음의 Table 1에 나타내었다. 고정산란체로 쓰인 Trihedral corner reflector는 시스템 전방 135 m, 147 m, 157 m, 167 m, 178 m 지점에서 서로간의 간섭을 피하기 위해 M 자 모양으로 배열하였으며, 시스템으로부터 가까운 거리부터 A ~ E로 명명하였다.

Table 1. 실험 parameter

Center frequency : 9.65 GHz
Range bandwidth : 600 MHz
IF BW : 1 KHz
Number of points : 1601
Power : VNA 0 dBm + Amp 33 dBm
Azimuth Step : 5 cm
Azimuth length : 5 m

## 3. 영상 분석

### a. phase 추출

VNA를 통해 얻은 raw data는

Deramp-FFT algorithm으로 처리하여 모든 편파에 대해 나타내었다. Fig. 2는 co-pol인 VV편파와 cross-pol인 HV편파의 영상을 나타낸다. 빨간색 원으로 표시한 지점이 reflector에 의한 신호를 나타내며, co-pol 인 VV와 HH 편파에서는 5 개의 신호가 모두 강하게 나타난 반면, cross-pol인 HV와 VH 편파에서는 3개는 약하게, 2개는 거의 표현되지 않았다. reflector의 안정성 판단을 위한 phase 추출 시, 모든 편파에서 동일 픽셀의 지점의 phase를 추출하였다.

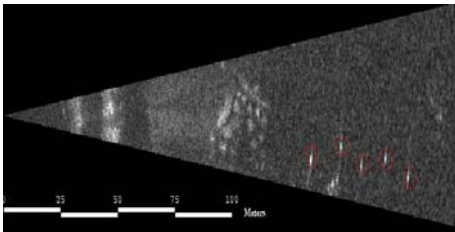


Fig. 2(a). VV 편파의 GB-SAR 영상

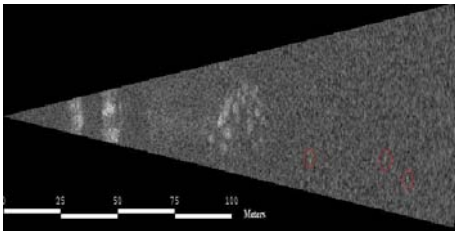


Fig. 2(b). HV 편파의 GB-SAR 영상

#### b. Temporal Coherence

안정된 시스템과 동일한 조건에서 연속으로 측정된 영상의 복소신호를  $z_i$ 라 하고,  $N$ 개의 측정이 이루어졌을 때, Temporal coherence는 다음과 같이 정의된다(이훈열 외, 2007).

$$\gamma = \frac{\left| \sum_{i=1}^N z_i \right|}{\sum_{i=1}^N |z_i|} \quad (1)$$

이 경우, temporal coherence  $\gamma$ 는 0에서

1의 값을 갖는다. Fig. 3은 VV 편파의 temporal coherence 영상, Table 2는 산출한 temporal coherence 값을 나타낸다. cross-pol 에서의 B와 C 지점의 값은 다른 지점에 비해 매우 낮으므로, 대기보정식 산출과정 시 제외하였다.

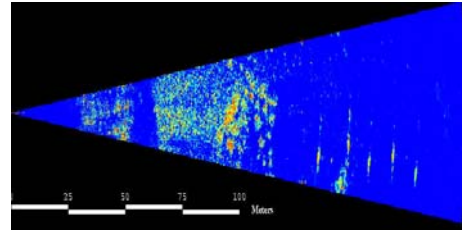


Fig. 3. VV Temporal coherence 영상

Table 2. 편파별 Temporal coherence

	VV	VH	HV	HH
A	0.9892	0.9834	0.9859	0.9899
B	0.9838	0.9192	0.9378	0.9894
C	0.9845	0.8898	0.4036	0.9893
D	0.9870	0.9801	0.9823	0.9872
E	0.9853	0.9840	0.9823	0.9858

### 4. 대기보정

#### a. 대기보정식의 산출

빛을 포함한 전자기파는 물질이 전혀 없는 진공 속에서도 전파되며, 이 경우 속도는 광속으로 일정하게 유지된다. 하지만 GB-SAR 야외 실험 시 시스템과 target 간에는 공기가 존재하며, 공기 중의 습도는 마이크로파의 속도에 영향을 끼칠 수 있다. 산란체나 건물 등의 안정성 판단에 GB-SAR를 사용하는 경우 정밀도는 mm 단위이므로, 습도의 영향에 의한 대기보정은 필수적이다. 실험 간 습도자료는 실험 장소에서 약 1 km 떨어진 대전지방기상청의 분 단위 상대습도 자료를 사용하였으며 약 50 %에서 90 %로 40 % 정도의 변화를 보였다. 시스템과 reflector의 거리

는 모두 다르므로, phase 변화를 각각의 거리로 나누어 <<phase 변화/m>>로 환산하였고, 이를 습도 변화와 비교하여 대기보정식을 산출하였다. 산출된 대기보정식은 거리 R과 습도 h의 영향을 받는 다음의 일차식의 형태로 나타난다.

$$\phi = -4\pi R(ah+b) \quad (2)$$

산출된 a와 b는 각각  $a = 1.77 \times 10^{-5}$ ,  $b = -9.77 \times 10^{-4}$ 로 나타났다.

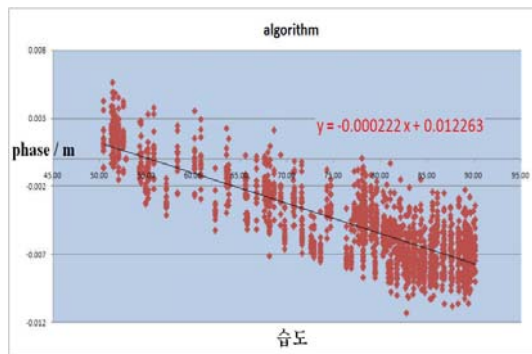


Fig. 4. 대기보정 algorithm 생성

#### b. C-band 보정식과의 비교

본 연구에서 산출된 X-band 안테나 대기보정식을 C-band 안테나의 대기보정식(이재희 외, 2008)과 비교하였다. C-band 안테나의 경우 중심주파수 5.3 GHz이며, 중심주파수를 제외한 실험 parameter와 processing과정, 대기보정식 산출과정은 본 연구와 동일하게 유지되었다. Table 3은 본 연구와 C-band 안테나 시스템을 통해 산출된 a와 b를 나타낸 것으로 a의 비율은 파장의 비율과 거의 흡사하게 나타나고 있다.

	a	b
X-band	$1.77 \times 10^{-5}$	$-9.77 \times 10^{-4}$
C-band	$3.44 \times 10^{-4}$	$-1.64 \times 10^{-3}$

### 5. 결론

X-band 안테나 GB-SAR 시스템을 이용하여 고정된 상태의 reflector의 신호를 지속적으로 모니터링 하였다. 총 실험 시간에 따른 Temporal coherence를 편파별로 산출한 결과 co-pol인 VV와 HH 편파에서는 모든 reflector의 신호가 0.98 이상의 높은 값을 나타내었다. 하지만, cross-pol인 VH와 HV 편파의 경우 한 지점에서의 값이 매우 낮게 나타났다. 이러한 결과는 편파별 산란특성의 차이에 의한 것으로 보이며, 더 많은 실험을 통해 보완해야 할 부분으로 판단하였다.

실험간 습도자료를 획득하여 phase 변화와 습도변화와의 관계를 알아보았다. phase 변화의 감소를 위해 거리와 습도의 영향을 받는 대기보정식을 산출하였으며, 이를 C-band 안테나 시스템을 통해 얻어진 보정식과 비교하였다. 두 보정식의 기울기는 파장에 비례, 주파수에 반비례하는 것을 확인할 수 있었는데, 이는 마이크로파의 전파과정에서 습도가 속도를 감소시키는 요소로 작용하였기 때문으로 판단된다.

### 6. 감사의 글

이 연구는 한국지질자원연구원의 2009년 ‘광상 맞춤형 자원탐사, 채광 최적기술개발’과제의 지원으로 수행되었습니다.

### 7.참고문헌

이재희, 이훈열, 조성준, 성낙훈, 김정호, 2008. GB-SAR의 간섭기법을 통한 물체의 변위 측정 및 대기보정, 대한원격탐사학회 2008 춘계학술대회 논문집, 25-28  
이훈열, 조성준, 성낙훈, 김정호, 2007.

- GB-SAR의 개발(Ⅰ): 시스템 구성과 간섭 기법, *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.
- 조성준, 김정호, 성낙훈, 정지민, 2005. PXI를 이용한 다목적 물리탐사 측정시스템, *물리탐사*, 8(3):224-231.
- Fortuny, J. and A. J. Sieber, 1994. Fast algorithm for a near-field synthetic aperture radar processor, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 42(10): 1458-1460.
- Leva, D., G. Nico, D. Tarchi, J. Fortuny-Guasch, and A. J. Sieber, 2003. Temporal analysis of a landslide by means of a ground-based SAR interferometer, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(4): 745-757.
- Nico, G., D. Leva, G. Antonello, and D. Tarchi, 2004. Ground-based SAR interferometry for terrain mapping: Theory and sensitivity analysis, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(6): 1344-1350.
- Nico, G., D. Leva, J. Fortuny-Guasch, G. Antonello, and D. Tarchi, 2005. Generation of digital terrain models with a Ground-Based SAR system, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(1): 45-49.
- 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
- Pipia, L., X. Fabregas, A. Aguasca, and C. Lopez-Martinez, 2008. Atmospheric artifact compensation in Ground-Based DInSAR application, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 5(1): 88-92
- Tarchi, D., N. Casagli, R. Fanti, D. D. Leva, G. Luzi, A. Pasuto, M. Pieraccini, and S. Silvano, 2003. Landslide monitoring by using ground-based SAR interferometry: an example of application to the Tessina landslide in Italy, *Engineering Geology*, 68: 15-30.
- Tarchi, D., H. Rudolf, M. Pieraccini, and C. Atzeni, 2000. Remote monitoring of buildings using a ground-based SAR: application to cultural heritage survey, *International Journal of Remote Sensing*, 21(18): 3545-3551.