

# Arc-SAR 시스템 개발 및 결과영상

이재희\*, 김광은\*, 조성준\*, 성낙훈\*, 이훈열\*\*

\*한국지질자원연구원 광물자원연구본부

\*\*강원대학교 지구물리학과

## Development of Arc-SAR system and result images

Jae-Hee Lee\*, Kwang-Eun Kim\*, Seong-Jun Cho\*, Nak-Hoon Sung\*  
and Hoonyol Lee\*\*

\*Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

\*\*Department of Geophysics, Kangwon National University  
(zack, kimke, mac, [nhsung@kigam.re.kr](mailto:nhsung@kigam.re.kr), [hoonyol@kangwon.ac.kr](mailto:hoonyol@kangwon.ac.kr))

요약 : 본 연구에서는 개발 완료된 차량 탑재형 원형레일 기반의 지상SAR(Arc-SAR) 시스템에 대한 설명과 이를 통해 획득된 영상을 소개하고자 한다. 기존의 발표를 통해 소개된 2개의 측정모드 중 스캔모드는 연기군 일대에서, 스팟모드는 세종시의 은하수 공원에서 수행되었으며 모두 중심주파수 9.65 GHz의 X-band 안테나 2개를 사용하였다. 스캔모드는 0.54°의 측정간격으로 총 349.92°, 스팟모드는 총 89.64°를 0.54°의 간격으로 움직이며 데이터를 획득하였다. 각각 극좌표 기반의 range-doppler 알고리즘과 time-domain 알고리즘을 통해 표현된 스캔 및 스팟모드 영상과 실제지형과의 비교를 통해 시스템 및 영상화 알고리즘의 타당성을 확인할 수 있었다. 결과적으로 신속한 측정을 필요로 하는 지역에 대한 지상 SAR 시스템의 적용이 가능하며, 차후 많은 활용이 가능할 것으로 기대할 수 있다.

### 1. 서론

기상조건에 관계없이 언제나 측정이 가능하고, 간섭기법 적용 시 sub-mm의 정밀도로 변위측정을 할 수 있다는 장점을 지닌 SAR(Synthetic Aperture Radar) 시스템은 일반적으로 인공위성 및 항공기에 탑재되어 운용된다. 하지만 최근 이탈리아와 스페인, 일본 그리고 한국에서는

GB-SAR(Ground-Based SAR)시스템을 개발하여 발표한 바 있다. GB-SAR 시스템이란 SAR의 원리를 지상에서 적용한 것을 의미한다. 발표된 연구에서 시스템은 안테나의 움직임을 인공위성이나 항공기와 같이 선형적으로 표현하기 위해 고정밀 linear rail을 이용하였다. 이 경우 연

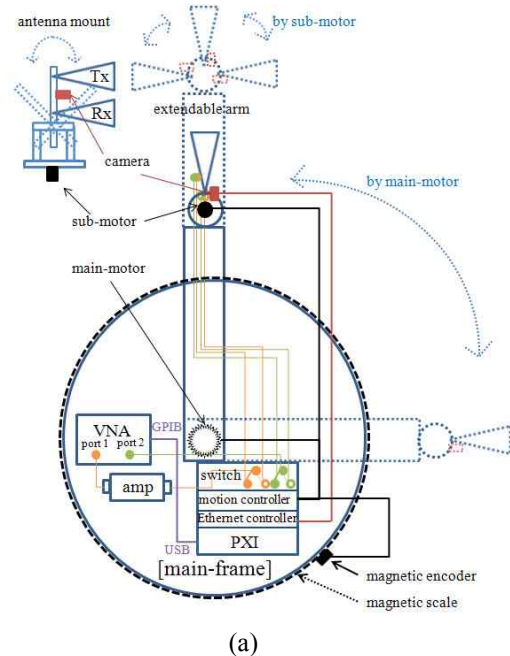
속적인 반복 측정을 할 수 있고 baseline을 0으로 유지할 수 있어 보다 정밀한 간섭기법 적용이 가능하다는 장점이 발생한다. 하지만 레일과 RF 장비의 설치를 위해 많은 비용과 시간이 요구되고, 합성구간의 길이는 설치된 레일에 국한된다는 단점 또한 발생한다.

본 연구에서는 이러한 linear GB-SAR 시스템의 단점을 보완하기 위한 차량 탑재형 원형레일 SAR(Arc-SAR) 시스템을 개발하였다. 시스템은 평소 차량에 탑재되어 있기 때문에 실험지역으로의 신속한 이동이 가능하고, 장비 설치를 위한 시간도 줄일 수 있다. 또한 길이 연장이 가능한 boom을 이용하여 합성구간을 차량의 길이보다 길게 설정할 수 있으며, 추가적으로 일반적으로 쓰인 선형이 아닌 원형 모션제어를 통해 선형에 비해  $\pi/2$ 만큼 구간을 확장시킬 수 있다. 또한 원형모션을 구사함에 따라 측정지역을 180°가 아닌 360°로 확장할 수도 있다.

## 2. 시스템 개발

Fig. 1(a)는 Arc-SAR 시스템의 전체적인 모식도를, Fig. 1(b)는 차량에 탑재된 실제 시스템의 모습을 나타낸다. Fig. 1의 메인 프레임은 크게 중앙의 턴테이블과 안테나 장착을 위한 안테나 붐으로 구성된다. 턴테이블에는 안테나를 제외한 모든 RF장비가 놓이며, 하부의 모터와 주위에 부착된 마그네틱 스케일에 의해 움직임이 제어된다. 마그네틱 스케일을 사용 이유는 모터의 스텝만으로는 미세한 움직임을 제어할 수 없었기 때문으로, 스케일의 정밀도는 10  $\mu\text{m}$ 이다. RF 장비 중 VNA(Vector Network Analyzer)는 마이크로파의 송신과 수신을 담당하며, 야외 실험의 경우 신호 증폭을 위해 마이크로파 앰프를 사용한다. 또한 편파 차이에 의

한 영상분석이 실험의 목적이 될 경우 마이크로파 스위치를 이용하여 모든 편파에 대한 영상을 획득하게 된다. 안테나는 길이 연장이 가능한 붐의 끝단에 위치한다. 붐은 최소 2.19 m, 최대 4.13 m의 반경을 갖는다. 안테나가 고정된 채 중앙의 모터를 이용해 턴테이블만 회전시킬 경우 안테나는 시스템을 중심으로 360° 회전을 하여 360°의 SAR 영상이 획득된다. 이러한 영상은 side-looking을 기본으로 하는 전통적인 SAR 시스템에서는 획득된 적이 없는 것으로 본 연구에서 최초로 시도되는 것이다. 한편 안테나 하부에도 모터가 장착되어 있어 안테나를 회전시킬 수 있는데 이를 중앙모터의 회전각과 반대방향으로 움직이게 할 경우 측정방향은 전통적인 SAR와 같이 한 방향으로 유지하며 데이터를 획득할 수 있게 된다. 본 연구에서는 전자와 같은 모드를 스캔모드(scan-mode), 후자를 스팟모드(spot-mode)라 명명하고 두 모드에 대한 실험을 수행하였다.





(b)

Fig. 1. (a) Arc-SAR 시스템의 전체 모식도, (b) 실제 시스템의 측면

### 3. 영상화 알고리즘

이훈열 외(2007)는 선형 레일 기반의 GB-SAR 시스템을 통해 획득된 데이터를 Range-Doppler와 Deramp-FFT 알고리즘을 통해 영상화한 바 있다. 하지만 본 연구의 SAR 시스템은 azimuth 방향을 선형에서 원형으로 대체했기 때문에 새로운 알고리즘을 필요로 한다. 이훈열 외(2009)에서는 Arc-SAR 시스템의 스캔모드와 스팟모드 데이터를 영상화하기 위해 각각 극좌표 기반의 range-doppler 알고리즘과 deramp-FFT 알고리즘을 개발하였다. 이 중 스팟모드 영상화를 위한 deramp-FFT 알고리즘은 처리시간이 짧으나 부정확하다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 스팟모드 영상화를 위해서 이훈열 (2012)에 의해 새롭게 개발된 극좌표 기반의 time-domain 알고리즘을 사용하였다. 스캔모드 영상화를 위한 알고리즘은 동일하게 극좌표 기반의 range-doppler 알고리즘을 사용하였다.

### 4. Arc-SAR 영상화

#### a. 스캔모드

스캔모드 실험은 2011년 12월 13일 충남 연기군 일대에서 수행되었다. 실험변수는 Table 1에, 실험 지역에 대한 위성 영상

과 Arc-SAR 영상은 Fig. 2(a)와 (b)에 각각 나타났다. Table 1에서 총 측정각도가 360°가 아닌 이유는 턴테이블 주위에 부착한 마그네틱 스케일의 시작점과 끝 지점이 미세한 공간을 두고 맞닿아 있는데 이 지점에서는 카운트가 되지 않기 때문이다. 그렇기 때문에 Fig. 2(b) 영상 중 0° 부근에는 다른 각도와는 다르게 검은 색으로 처리된 것을 확인할 수 있다.

Fig. 2(a)에서 중앙의 검은 사각형은 차량을 의미한다. 0° ~ 180° 사이의 지역에는 많은 비닐하우스와 마을, 그리고 약 200 m 지점에는 기차길이 위치하고 있었고, 180° ~ 360° 사이에는 주차장 및 둔치로 이용하기 위한 공사가 진행 중이었다. 실험 시 주차 공간이 충분하지 않아 차량의 위치가 관찰지역에 대해서 충분히 높지 않았고, 실험 간 0° ~ 180° 지점에서 발생한 기차와 차량의 이동이 잡음으로 작용했을 가능성이 있다. 결과적으로 Fig. 2(a)에서 노란색으로 표시한 비닐하우스와 마을의 모습은 Fig. 2(b)에서 확인이 가능하지만 빨간색으로 표시한 구조물에 대해서는 식별이 용이하지 않다. 한편 180° ~ 360° 지역의 영상은 반대방향에 비해 식별이 더 용이하지만, 실제 영상인 Fig. 2(a)와는 다소 차이를 나타낸다. 이는 Fig. 2(a)와 (b)의 촬영시간 차이에 의한 것으로 실험 시 일부 주차장과 운동장의 공사는 완료되어 있었다. 약 200° 지점의 오각형의 주차장과 280° 지점의 정사각형의 운동장의 모습은 공사가 완성되었기 때문에 반영되었다.

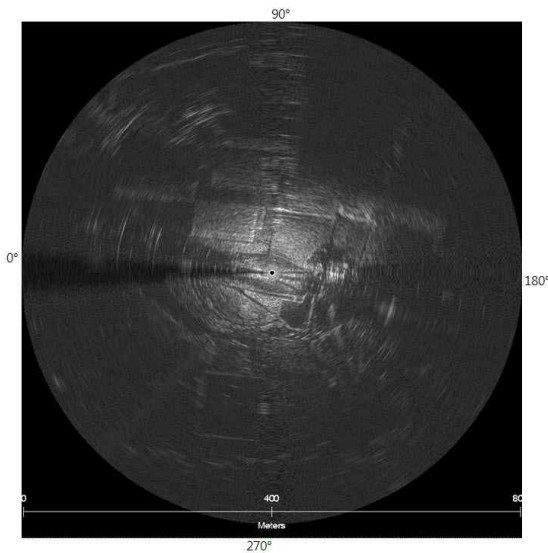
Table 1. 스캔/스팟모드 실험변수

변수(단위)	스캔모드	스팟모드
중심주파수(GHz)	9.5	9.5
밴드폭(GHz)	0.3	0.3
레인지 샘플링	801	1601

파워(dBm)	37	42
레이저 방향	200	400
관측 거리(m)	3000	3000
빔 길이(mm)	3000	3000
측정간격(°)	0.54	0.54
총 측정각도(°)	349.92	89.64



(a)



(b)

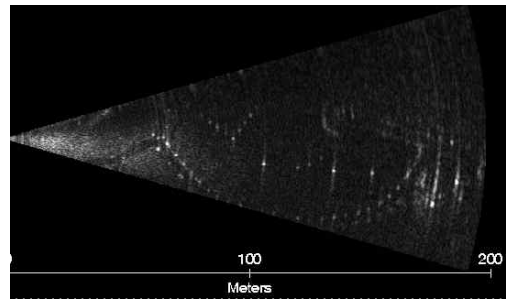
Fig. 2. (a)실험지역의 광학영상(@daum map), (b)Arc-SAR 스캔모드의 결과영상

### b. 스팟모드 영상화

스팟모드 실험은 2011년 10월 20일 충남 연기군의 은하수 공원 일대에서 수행되었고, 실험변수는 Table 1에 나타났다. Fig. 3(a)에서 노란색 삼각형으로 표시한 것은 강한 신호 획득을 위해 설치한 삼각삼면 반사체이다. 실험지역은 이러한 삼각삼면 반사체 외에 산책로와 산책로 주변의 가로등, 작은 건물 등이 위치하고 있다. Fig. 3(b)는 time-domain 알고리즘을 통해 나타난 영상이다. 검게 표현된 산책로와 그 주변에 밝게 표현된 가로등, 그리고 영상의 중앙에 나란하게 표현된 반사체의 신호 등을 통해 실제 지형을 잘 반영하고 있음을 확인할 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 3. (a)실험지역의 광학영상(@daum map), (b)Arc-SAR 스팟모드의 결과영상

### 5. 결론

개발 완료된 Arc-SAR 시스템을 이용하여 스캔모드와 스팟모드의 실험을 수행하였

고, 각 모드에 맞춰 개발된 영상화 알고리즘을 통하여 실험 결과를 영상화하였다. 두 모드에서의 결과 영상은 모두 실제 실험 지역을 잘 반영함으로써 시스템 및 영상화 알고리즘의 타당성을 확인할 수 있었다. 본 시스템은 기존의 지상 SAR 시스템의 미세변위 탐지라는 장점에 신속한 이동성을 추가하였다. 따라서 장기 관측 실험을 통하여 미세변위 측정 탐지에 대한 연구가 추가되어야 할 것으로 판단된다.

## 6. 감사의 글

이 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업-지능형국토정보기술혁신사업 과제의 연구비지원(07국토정보CO3)에 의해 수행되었습니다.

## 7. 참고문헌

김광은, 조성준, 성낙훈, 이재희, 강문경, 2011. 원형레이저 기반 지상 SAR 시스템에서의 안테나 위치 정밀 제어 기술 개발, *Korean Journal of Remote Sensing*, 27(1): 25-31

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

이훈열, 2012, private communication.

Brown. S. C. M., S. Quegan, K. Morrison, J. C. Bennett, and G. Cookmartin, 2003. High-resolution measurements of scattering in wheat canopies-implication for crop

parameter retrieval, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(7): 1602-1610.

Hoonyol Lee, Seong-Jun Cho, and Kwang-Eun Kim, 2010. A ground-based arc-scanning synthetic aperture radar(ArcSAR) system and focusing algorithms, *in proc. IGARSS*, 3490-3493

Pipia. L., X. Fabregas, A. Aguasca, and C. Lopez-Martinez, 2008. Atmospheric artifact compensation in ground-based DInSAR applications, *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.

Zhou. Z. -S., W. -M. Boerner, and M. Sato, 2004. Development of a ground-based polarimetric broadband SAR system for noninvasive ground-truth validation in vegetation monitoring, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(9): 1803-1810.