

# InSAR Coherence 영상을 이용한 산사태 탐측 Monitoring of Landslide using InSAR Coherence Image

정재훈\*, 손홍규, 김정환, 김상민

Jae Hoon Jung\*, Hong Gyoo Sohn, Jung Hwan Kim, Sang Min. Kim

연세대학교 토목환경공학과

{lionheart\_kr\*, sohn1, roak7, net82}@yonsei.ac.kr

## 요약

강원도 지역은 대부분의 지형이 산지로 이루어져 있고, 최근 심각해지고 있는 기후 변화로 인해 집중호우가 잦아지면서 이로 인한 산사태 피해 또한 증가하고 있는 상황이다. 하지만 기존에 이루어져왔던 직접 측량 방식은 많은 시간과 인력이 소모되고, 접근성의 제약으로 인해 곳곳에서 발생하는 모든 산사태를 체계적으로 감지하기에는 무리가 따른다. 따라서 효율적인 산사태 감지와 신속한 대처를 위해 최근 인공위성을 이용한 원격 탐측이 주목을 받고 있으며, 특히 고해상도 영상 레이더(Synthetic Aperture Radar, SAR)는 태양광의 유무나 대기 조건에 상관없이 상시 관측이 가능하다는 장점으로 인해 그 수요가 점점 늘어나고 있는 추세이다. 본 연구에서는 산사태가 집중되는 지역인 강원도 강릉 부근(N 37°.30'~38°.10', E 128°.05'~129°.00')을 대상으로 SAR 영상 처리 기법 중 하나인 간섭기법(Interferometric SAR, InSAR)를 통해 생성되는 coherence 영상을 분석하여 93년 7월 27일과 동년 9월 9일 사이에 발생한 산사태 피해 지역을 추정하였다.

## 1. 서론

우리나라는 전체 지형의 70%가 산지로 이루어져 있고, 이 중 대부분이 동쪽에 위치하고 있는 동고서저의 지세를 가지고 있다. 특히 강원도는 동해와 인접해 있는 대표적인 산간 지역으로 최근 기후 변화에 따른 수증기 과다 유입으로 인해 집중호우가 자주 발생하면서 이로 인한 산사태 피해가 매우 심각한 상황이다. 최근의 보도 자료에 따르면 2005년을 전후로 백두대간에서 발생한 크고 작은 산사태는 주요 산간지방을 중심으로 400군데가 넘으며, 이 중 대부분이 국립공원 내에서 발생한 것으로 나타났다. 하지만 기존의 직

접 측량방식은 접근성의 제약이 크고, 많은 시간과 인력이 소모되므로 광범위한 지역에서 발생한 모든 산사태를 감지하기에는 무리가 따를 수밖에 없다.

따라서 효율적인 산사태 감지와 신속한 대처를 위해 최근 항공사진이나 위성영상을 이용한 원격탐측의 중요성이 대두되고 있다. 그 중에서도 고해상도 영상 레이더(Synthetic Aperture Radar, SAR)는 능동형 센서의 특징상 태양광의 유무와 대기 조건에 상관없이 상시 관측이 가능하다는 장점으로 인해 그 수요가 점점 늘어나는 추세이다. 특히 미국 사진측량 및 원격탐측학회(American Society for Phot

ogrammetry and Remote Sensing, ASP RS)의 2003년 보고서에 따르면 향후 수요가 증가할 것으로 예상되는 3대 주요 센서로서 다중분광영상(hyperspectral), LiDAR 및 SAR 자료가 선정되기도 했다(김경욱 외, 2005).

SAR를 이용한 기존의 산사태 연구를 살펴보면 외국의 경우 남프랑스 알프스 산맥의 산사태 변위 탐지 연구((Vietmeier et al., 1999), 캐나다 록키 산맥의 산사태 메카니즘 분석(Singhroy, 2004), 간섭 SAR(interferometric SAR) 기술을 통한 이탈리아 알프스 지역의 사면 움직임 탐측(Teledata Geoconsult, 2003) 등이 보고되고 있다. 하지만 대부분의 경우 파장이 짧은 C-band를 이용, 식생이 적은 한정된 지역에서의 연구가 주로 이루어져 왔으며, 국내에서의 산사태 연구는 거의 전무한 수준이다. 따라서 본 연구에서는 높은 투과성을 지닌 L-band JERS-1 위성 영상을 이용하여 대상지역으로 선정한 강원도 지역의 산사태 피해 지역을 추정하고, 그 활용 가능성을 분석하였다. 구체적으로는 레이더 간섭기법(Interferometric SAR, InSAR)을 통한 coherence 영상의 생성, 지오키딩을 통한 영상의 왜곡 보정 및 좌표 입력, 후처리를 통한 산사태 위험 지구의 분류 등의 과정을 포함한다.

## 2. InSAR coherence 영상을 이용한 산사태 탐측

### 2.1 SAR Interferometry

SAR는 공중에서 순차적으로 발사한 레이더파가 지상 굴곡 면에서 반사되는 미세한 시간차를 순차적으로 탐지한 후 합성해서 2차원 지상 지형도를 만들어낸다. 이때의 일반적인 SAR 영상은 안테나에 수신된 신호로부터 위상 정보(phase)

는 무시하고 단지 크기 정보(Intensity)만을 이용한 영상이다. 이에 반해 레이더 간섭 기법, 즉 InSAR는 두 개 이상의 안테나를 사용하거나 하나의 안테나로 동일 지역을 2회 이상 관측함으로써 2개 이상의 단일복소영상(Single Look Complex) 영상을 제작하고, 이로부터 수신되는 신호들의 위상차를 활용하여 표적의 3차원 고도 정보를 얻을 수 있게 된다.

상관도(coherence)는 interferometry를 수행함에 있어서 중요하게 사용되는 파라미터로, 지상 물체로부터 산란되어 되돌아온 두 레이더 신호 간의 일치성을 나타내는 정량적 수치이다. 이러한 coherence는 각 영상소(pixel) 단위로 기록되며, 다음의 식 2.1을 통해 나타내어진다.

$$\rho = \frac{\langle s_1 s_2^* \rangle}{\sqrt{|s_1|^2 |s_2|^2}} \quad \text{식 2.1}$$

여기서  $s_1$ 과  $s_2$ 는 두 complex image를 나타낸다. Interferometry를 수행하기 위해서는 두 영상이 어느 정도의 상관성을 유지해야만 하고 그 값은 분수 범위 내에 존재한다. 즉  $\rho$ 가 1인 경우에는 매치되는 두 영상소간 변화가 전혀 없었다는 것을 의미하고(full coherence), 그 수치가 낮아질수록 상관성이 떨어져서  $\rho$ 가 0인 경우 두 영상소간 상관성이 전혀 없는 것을 의미한다(no coherence). 이러한 상관도에 영향을 미치는 요소로는 지형변화, 신호잡음(noise), Sidelobes, Temporal등을 들 수 있다(Curlander et al., 1996).

만약 noise, temporal 등의 오차 요소를 제거할 경우, coherence 수치는 역으로 두 영상간 지형 변화의 정도를 탐지할 수 있는 수치로서 활용될 수 있다. 즉 동일 지역을 시간 간격을 두고 촬영한 두

영상의 coherence 수치를 비교했을 때, 어느 한 영상소의 coherence 수치가 다른 지역보다 낮을 경우 산사태 등의 지형적 변화로 판단할 수 있다.

## 2.2 연구대상지역

강원도 지역은 우리나라의 대표적인 산간 지방으로 여름철 장마와 태풍 등의 영향으로 매년 크고 작은 산사태가 발생하고 있다. 일례로 2002년 8월 31일과 9월 1일 이틀에 걸쳐 발생한 태풍 루사의 영향으로 수백 개 이상의 산사태 피해가 보고되었으며(건설교통부, 2006). 최근엔 한반도 주변의 심각한 기후 변화로 인한 집중호우로 산사태 피해가 더욱 커지고 있다.

이러한 잦은 산사태 피해와 더불어 산악 지역의 경우 접근성의 제한 등으로 인해 기존의 직접 측량 방식은 현재 한계를 보이고 있다. 따라서 본 연구에서는 산사태가 집중되는 강원도 지역 강릉 서쪽 위도  $37^{\circ} 30' \sim 38^{\circ} 10'$ , 경도  $128^{\circ} 05' \sim 129^{\circ} 00'$ 에 해당하는 지역을 대상 지역으로 선정하여 레이더 위성 영상을 이용한 광역 산사태 검측 가능성을 시험해 보았다. 다음 그림 2.1은 대상 지역으로 선정한 강릉 서쪽 지방의 위성 영상 사진이다.

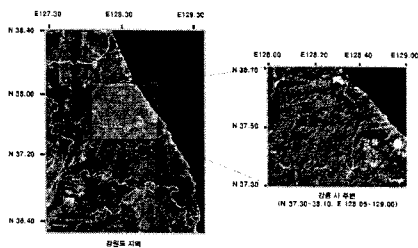


그림 2.1 강릉 지역의 위성 영상 (Google earth)

## 2.3 자료취득

SAR 영상은 레이더 파장의 길이에 따

라 X-band, C-band 그리고 L-band 센서 3가지로 나뉜다. 이중 X-band와 C-band의 경우 파장이 짧은 대신 높은 해상도의 영상을 제공하고 있으며, L-band의 경우 23.5cm에 이르는 긴 파장으로 구름과 같은 대기의 영향을 받지 않음은 물론 나뭇잎과 같은 식생들도 투과가 가능하다는 장점이 있다. 산사태 탐측을 위해 대상 지역으로 선정한 강원도 지역은 대부분의 지역이 산림으로 이루어져 있으므로 이로 인한 decorrelation을 줄이기 위해 본 연구에서는 높은 투과성을 지닌 L-band JERS-1 위성 영상을 사용하였다. 그림 2.2는 지형 보정이 이루어지기 전 JERS-1 위성을 통해 촬영된 강원도 지역의 93년도 7월 27일 SAR intensity 영상을 나타낸다.

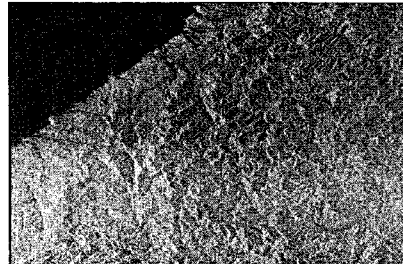


그림 2.2 강원도 지역의 SAR intensity 영상

또한 SAR 영상 특유의 layover, shadow 등에 의한 지형왜곡을 없애고, 영상에 좌표를 입력하기 위해 미국 NASA의 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)에 의해 제작된 DEM을 이용하여 지형 보정을 수행하였다. DEM의 해상도는 90m 이고, 그림 2.3은 지형보정에 사용된 SRTM DEM의 영상을 나타낸다.

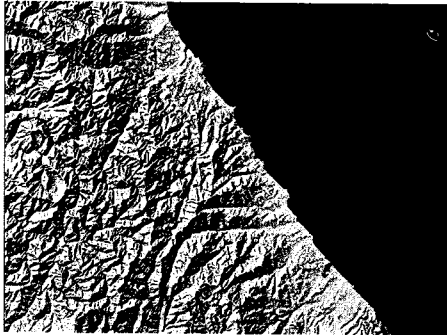


그림 2.3 강원도 지역의 SRTM DEM

### 3. 자료 처리 및 산사태 피해 지역 분석

#### 3.1 coherence 영상 제작

Interferometry를 위해서는 두 개의 SAR 영상이 필요하다. 본 연구에서는 93년도에 촬영된 JERS-1 영상 중 temporal decorrelation에 의한 오차를 줄이기 위해 비교적 가까운 기간인 93년 7월 27일 영상을 주영상으로, 93년 9월 9일 영상을 부영상으로 사용하였다. 하지만 그림 3.1에서 보듯이 두 기간 동안 400mm에 가까운 폭우가 발생하였으므로 이 기간 동안 강릉 지역 근처 산간지방에 많은 산사태가 발생했음을 추정할 수 있다.

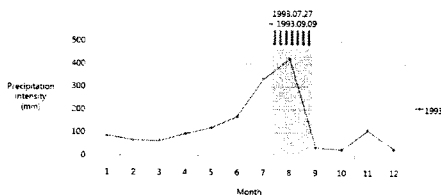


그림 3.1 강릉 지역의 93년 강수량 자료 (기상청)

두 영상 촬영 당시의 위성간 기선 거리는 375m이며, Adaptive filtering을 통해

노이즈를 제거하고, SRTM DEM을 사용하여 지형보정을 수행하였다. 다음 그림 3.2는 지형 보정 과정을 거치고 난 이후의 SAR coherence 영상을 나타낸다. 노란색의 경우 높은 coherence 값을 나타내는 지역으로 주로 해안선을 따라 도심지역에 분포하고 있으며, 파란색의 경우 낮은 coherence를 나타내는 지역으로 주로 산간 내륙지방에 분포하고 있다.

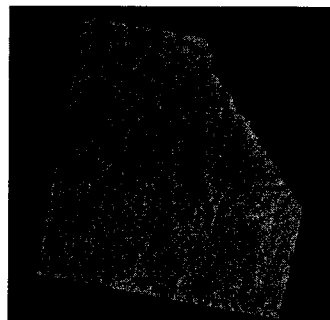


그림 3.2 지형 보정을 거치고 난 후의 coherence 영상

#### 3.2 산사태 피해 지역의 분석

다음의 그림 3.3은 coherence 영상으로부터 생성된 강릉 지방의 산사태 위험도이고, 표 3.1은 coherence 등급에 따른 영상소의 갯수와 백분율을 나타낸다.

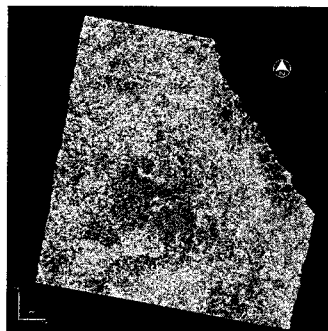







그림 3.3 강릉 지방의 산사태 피해도

표 3.1 coherence 등급

Size	Coherence	Color	Pixel	Percent(%)
Column : 1996 Line : 1900	0.8 ~		246218	12.05
	0.6 ~ 0.8		611314	29.95
	0.4 ~ 0.6		677876	33.20
	0.2 ~ 0.4		418719	20.51
Total	~ 0.2		87669	4.29
			2041796	100

coherence는 0.2를 기준으로 등급을 구분하였다. 붉은색은 0.8이상의 높은 coherence를 나타내는 지역으로 주로 도심지에 위치하며, 지형적 변화가 거의 없었던 지역을 나타낸다. 반면에 푸른색 지역의 경우 coherence 수치가 0.2 이하로 매우 낮게 나타난 지역으로서 전체의 약 4.3%를 차지하고 있으며, 이 지역의 경우 다른 오차에 의한 요인 이외에도 지형 변화에 의한 가능성을 내포하고 있다. 특히 위도 37° 50', 경도 128° 20'의 방태산 부근에서 낮은 coherence 수치가 집중되어 이 지역이 93년 7월 27일과 9월 9일 사이 산사태 피해 가능성이 높은 곳으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 SAR Interferometry를 통해 생성되는 coherence 영상을 이용하여 93년도 7월 27에서 동년 9월 9일 사이에 발생한 강원도 강릉 부근에 대한 산사태 감지 연구를 수행하였다. 그 결과 대상 지역 전체 4.3% 지역에서 0.2 이하의 낮은 coherence 수치가 검출되었으며, 특히 위도 37° 50', 경도 128° 20'의 방태산 부근이 산사태 피해 지역으로 추정되었다. 차후 토지 피복도 및 광학위성영상 등을 이용하여 SAR 영상으로부터 수계지역을 분류하고, 실측 데이터 등과의 비교 연구를 통해 정확한 threshold가 산정될 경우 보다 효과적인 산사태 검출이 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

#### 5. 감사의 글

본 연구는 건설교통부 지역특성화 연구개발사업의 일부인 낙석 및 산사태 방지를 위한 차세대 신기술 개발 프로젝트의 지원으로 이루어졌습니다.

#### 6. 참고문헌

- 김경옥, 신성웅, 임영재, 김홍갑, 오재홍 (2005), 멀티센서 공간영상정보 통합처리 기술개발 동향, 전자통신동향분석, 제20권, 제3호, pp.92-103.
- Curlander, J. C., Carande, R. and Rosen P. (1996), Interferometric Synthetic Aperture Radar: Theory and Applications, VEXCEL Corporation.
- Singhroy, V. and Molch, K. (2004), Characterizing and monitoring rockslides from SAR techniques. Advances in Space Research, Vol. 30, No. 3, pp. 290-295.
- Teledata GeoConsult GmbH-srl (2003), Monitoring of unstable slopes in the Italian Alps based on remote sensing. Executive Summary, ESA/ESRIN, Frascati, Italy.
- Vietmeier, J., Wagner, W. and Dikau, R. (1999), Monitoring moderate slope movements in the southern French Alps using differential SAR interferometry. Proc. 2<sup>nd</sup> International Workshop on ERS SAR Interferometry, FRINGE 99, Liege, Belgium, 10-12 November 1999.