SAR 위성영상을 이용한 적설 깊이의 공간적인 분포 추정*

Spatial Distribution of Snow Depth using SAR Satellite Images

박희성
한국건설기술연구원
수자원하천연구본부 연구위원
hspark90@kict.re.kr

정건희
호서대학교 건축토목공학부 부교수
재난안전시스템학과 일반대학원 주임교수
gunhuic@gmail.com

1. 서론

지난해 2022년 12월 겨울은 시작부터 무척 추웠다. 2022년 12월 25일에 미국 와이오밍주는 영하 46도까지 떨어지며, 영화 '투모로우'가 현실로 나타났다고 이야기하기도 했다. 같은 시기 우리나라도 12월 22일에서 24일 사이 광주에 40cm. 장성 32.9cm 등 대설이 내려 1939년 적설심을 관측한 이래 3번째로 깊은 적설심을 기록했으며, 도로 통제 및 비닐하우스 붕괴 등 많은 피해를 일으켰다. 참고로 기존 광주의 역대 최고 기록은 2008년 1월 1일 41.9cm, 2위는 2005년 12월 22일 40.5cm였었다. 그에 앞서, 12월 14일 이후 25일까지 지속된 대설과 한파로 수도권 및 중부 지방에 눈길 교통사고 및 구조물 붕괴 등 다양한 피해가 발생했다(그림 1).

그 이후 2023년 1월은 연평균 기온을 웃도는 이상고온을 나타냈고, 남쪽에는 봄꽃이 필 정 도의 따뜻한 겨울이었다. 그러나 1월 16일 이후 날씨가 다시 추워지며, 한파와 폭설이 반복됐다.

날씨가 이렇게 예측하기 어렵게 변하는 것은 이상기후의 영향이라고 이야기할 수 있으며, 요즘 '기후위기'라는 말로도 많이 표현한다. 기상학적 측면에서 이상기후의 정의는 '기온, 강수량 등의 기후요소가 평년값(1991~2020년)에 비해 현저히 높거나 낮은 수치를

*이 기사는 2022년 12월 한국수자원학회 논문집에 게재되었던 「박희성, 정건희. (2022). "Sentinel-1 SAR 위성영상의 위상차분간섭기법(DInSAR)을 이용한 적설심의 공간분포 추정." 한국수자원학회논문집, Vol. 55, No. 12, pp. 1125-1135.」를 요약 및 인용하여 작성하였음을 밝힌다.

(a) 전북 완주에서 눈길에 미끄러진 화물차 전복

(b) 통근버스 사고 (눈길에 미끄러져 가드레일을 들이받음)

(c) 충북 청주시 눈길 교통사고

(d) 운행 중인 제설 차량

그림 2. 2022년 12월 14일 대설로 인한 사고 및 제설 현장 뉴스 보도

나타내는 극한현상'으로 세계기상기구(WMO)에서는 90퍼센타일 또는 10퍼센타일 미만의 범위를 의미한다. 이번 겨울에 발생한 한파 및 대설과 이상고온 현상이 수치상으로 정확하게 이상기후에 포함되는지는 정확하게 분석을 해야 할 일이지만, 평년값과 비교해 체감되는 기온이나 적설심이 매우 달랐던 것은 사실이다.

그러므로 적설심을 정확하게 관측하고 예측해서 그 피해를 최소화하는 것이 겨울철 대설 피해 저감 방향이 되어야 할 것이다. 그러나 적설심 관측지점의 수가 강우관측 지점에 비해 적고, 적설심 관측의 정확도가 강우관측보다 낮다는 한계가 존재한다. 최근 들어 레이저 적설계를 다수 설치하는 등 적설심 관측밀도와 정확도 향상을 위한 노력이 기울여지고 있으나, 포인트 관측으로 인한 대표성 부족, 이물질 등에 의한 간섭현상 등으로 여전히 정확한 적설심 관측에는 한계가 존재하고 있다.

강우와 달리 강설의 유출로 인한 피해가 거의 없는 우리나라에서는 대설이 발생할 때 공간적인 분포가 피해 추정을 위한 중요한 요소가 된다.

적설심의 공간 분포 파악을 위해서 상대적으로 적용이 용이한 원격탐지기술이 많이 사용되었다(Varade, et. al., 2020). 원격탐지기술 중 광학 및 전파를 이용한 위성영상이 주로 사용된다. 태양광의 반사도를 이용해 적설심을 계산하는 광학 위성영상으로는 MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) 센서를 탑재한 NASA (National Aeronautics and Space Administration)의 Terra 위성이나 천리

안2호(GK-2A)위성을 이용할 수 있다.

전파를 이용하는 위성영상은 유럽 우주국(European Space Agency, ESA)의 코페르니쿠스 프로그램에서 운영하는 Sentinels 위성이 적용이 용이하다. Sentinel-1A와 Sentinel-1B 위성은 C-band 극궤도 레이더 위성으로 주로 간섭 광대역(Interferometric wide, IW) 모드와 물결(wave) 모드로 촬영되고 있다. Sentinel-1은 12일의 재방문 주기를 가지고 있으며, 2대의 위성이 번갈아 가며, 같은 위치를 방문하므로, 같은 궤도에서 Sentinel-1A와 Sentinel-1B는 6일의 간격을 두고 있다.

합성개구레이더(Synthetic Aperture Radar, SAR) 영상 자료는 넓은 지역의 공간분포를 파악하면서도 일반적인 광학위성영상과는 달리 밤과 낮, 구름의 영향을 거의 받지 않는다는 장점이 있다. SAR 영상은 지표면에 직접 전파를 방사하고, 산란되어 돌아오는 신호를 수신하여 영상을 만들기 때문에 기하학적 왜곡특성을 나타내며, SAR 영상은 대상물질의 전파특성이 픽셀값으로 표현된다. 예를 들어, 물과 같이 후방상란 신호가 약한 영역은 어둡게 표현되고, 건물과 같이 후방산란 신호가 강한 영역은 밝게 표현된다 (Wang et al., 2019; Yu et al., 2017). L, S, C와 같이 비교적 긴 파장은 마른 눈의 표면에서의 후방산란이 비교적 적고, 쌓여 있는 눈을 투과하여 지표면에서 대부분의 후방산란이 일어나는 특성이 있다. X, Ku, Ka와 같이 비교적 짧은 파장의 전파는 쌓여 있는 눈을 투과하기보다 눈의 표면에서 후방산란이 더 크게 일어난다. 그러므로 적설 깊이 추정을 위한 SAR 분석을 위해서는 비교적 긴 파장이 적합하며, 마이크로파 후방 산란 모델(Active microwave backscattering models)이 적설심 추정에 적용된다(Dozier and Shi, 2000).

본 기고에서는 유럽우주국에서 운영하는 Sentinel-1B 합성개구레이더(SAR, Synthetic Aperture Radar)에서 수집된 자료에 위상차분간섭기법(Differential Interferometric SAR, DInSAR) 적용하여 충정남도와 전라북도 서해안 지역의 적설심의 공간분포를 추정한 “Sentinel-1 SAR 위성 영상의 위상차분 기법(DInSAR)을 이용한 적설심의 공간분포 추정(박희성, 정건희, 2022)” 내용을 소개하려고 한다.

2. DInSAR을 이용한 적설심 추정

2.1 DInSAR

위상간섭기법(SAR Interferometry, InSAR)은 지구 표면의 미세한 변화를 관찰할 수 있는 장점이 있다. InSAR는 동일한 연구지역에서 획득된 2장 이상의 SAR 영상으로부터 위상의 차이를 구하고, 이를 이용해 지표의 고도 및 표면의 변위를 측정하는 기법이다. 또한, DInSAR는 하나의 간섭도 (interferogram)로부터 DEM(digital elevation model)을 이용해 고도에 의한 위상간섭 영향을 제거하고, 표면의 변위만을 추출하는 기법이다. 그러므로 DInSAR는 표면 역학, 특히 표면 침하를 연구하기 위한 연구에서 크게 활용되었다(Chen et al., 2018).

Guneriussen et al. (2001)은 건조한 눈에 대한 적설상당수량(Snow Water Equivalent, SWE)를 추론하기 위해 DInSAR 기법을 이용하였으며, ERS-1/2 C-band DInSAR 데이터 분석을 기반으로 전파의 굴절이 위상간섭에 상당한 영향을 미치는 것을 확인하였다. 건조한 눈의 경우 상대적으로 높은 수준의 일관성이 관찰되지만, 적설심이 커짐에 따라 변화하는 눈의 밀도로 인해 오류가 발생하기도 했다. 레이더 빔이 건조한 눈을 통과할 때, 눈의 밀도와 유전률이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다(Matzler, 1996). 대기를 통과할 때와 건조한 눈을 통과할 때 레이더 빔

의 경로 변화가 생기며, 그 결과 눈이 오지 않았을 때와 눈으로 덮여 있을 때 영상에 대한 SAR 영상의 위상변화가 발생한다(Evans et al. 2014). 그러므로 적설의 기하학적, 물리적 특성에 기초하여 눈이 없는 날짜와 눈 덮인 날짜 사이에 축적된 적설심을 위상 변이 분석 방법인 DInSAR 방법을 이용해 분석할 수 있다(Guneriussen et al. 2001).

2.2 연구대상지역

DInSAR 기법을 적용하여 적설심을 추정하기 위해서는 레이더 영상 간 편차가 충분히 클 수 있도록 적설심이 큰 지역, 즉 눈이 많이 내리는 지역을 연구대상지역으로 선정하는 것이 유리할 것이다. 행정안전부에서 매년 발간하는 재해연보에 따르면, 1994~2020년까지 발생한 총 823건의 대설피해 중 가장 많은 피해가 발생한 지역은 전라북도 고창군, 강원도 양양군, 강원도 홍천군 순이다. 전라북도 고창군은 우리나라 남쪽 서해안에 접한 지역으로 줄포만을 사이에 두고 변산반도와 마주보고 있어 겨울철 눈이 많이 내리는 지역이며, 강원도는 태백산맥의 영향으로 고도가 높고 우리나라의 북쪽에 위치하고 있으므로 눈이 많이 내리는 지역이다. 이 중 강원도는 산지가 많아 나무에 쌓인 눈 등으로 적설심에 대한 위상차 분석이 어려울 수 있으므로, 산지가 비교적 적은 전라북도 해안가 지역을 연구대상지역으로 선택하였다. 또한 강설 발생 후 영상 촬영 시간까지의 간격이 길 경우, 융해나 승화로 인한 적설심의 변화가 발생할 수 있기 때문에 강설 발생 후의 시간간격이 짧은 영상을 선택할 필요가 있다. 이와 같은 여러 조건을 고려해 본 연구에서는 유럽우주국에서 운영하는 Sentinel-1 dual polarimetric IW 폭 모드 C-band SAR 데이터가 효과적일 것으로 판단하였으며, 적설 시기 전후 사용할 수 있는 최근 영상을 검색하여 한국시간(KST) 기준 12월 7일, 19일 새벽 6시 32분에 해당되는 SAR 이미지를 선택하였다.

DInSAR 기법의 적용을 위해서는 DEM이 필요한데

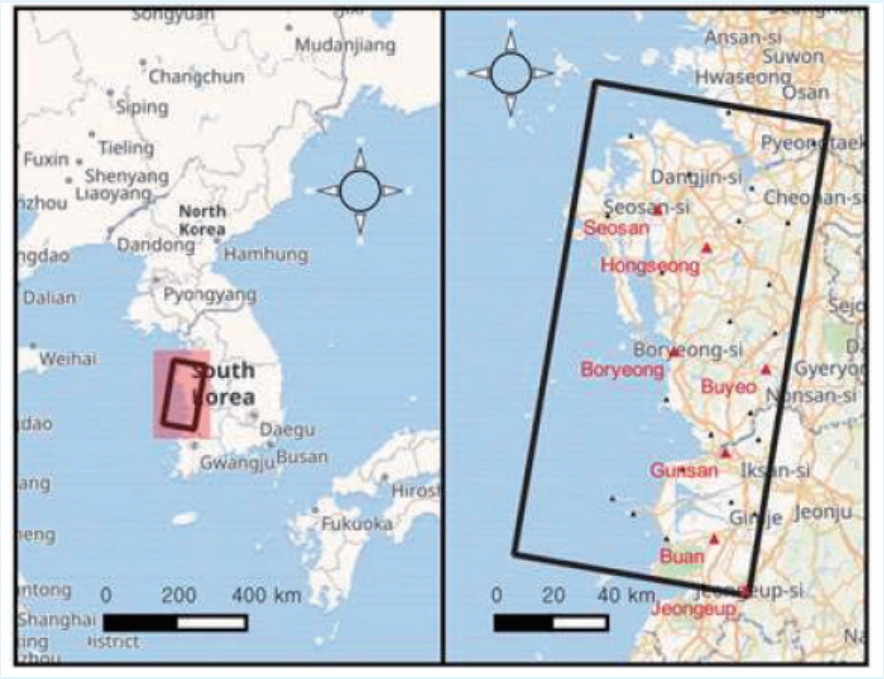
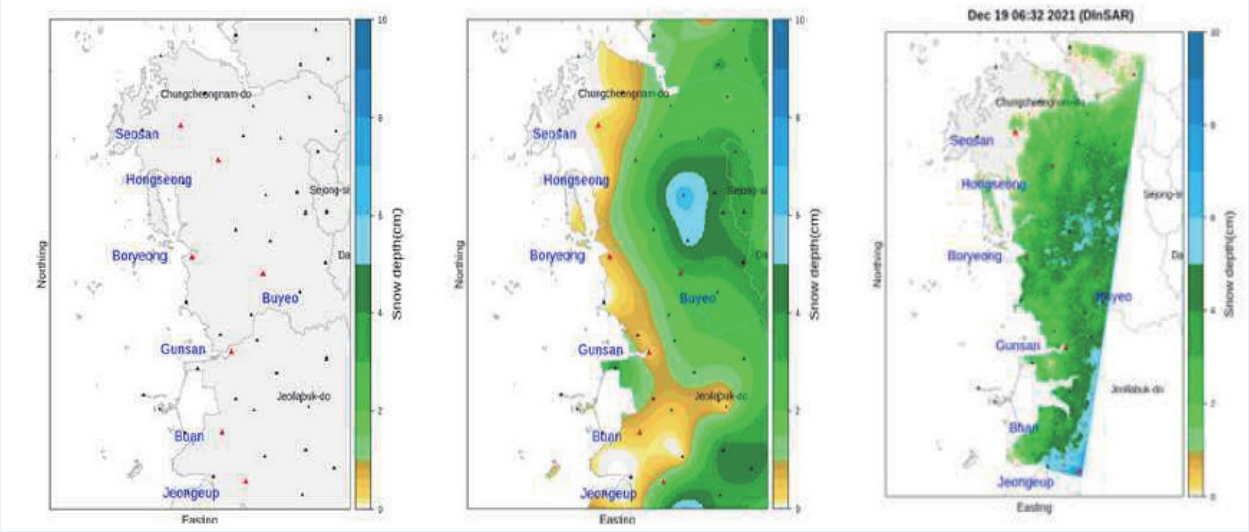


그림 2. 연구대상지역 (서해안)



(a) (b) (c)

그림 2. 지상관측소의 관측지점(a), 지상관측점의 Kringing 기법을 적용한 공간분포, (c) Sentinel-1B영상 DInSAR 결과 (Park and Chung, 2022)

DEM으로는 NASA에서 제공하는 SRTM 3Sec (shuttle radar topography mission 3sec) 고해상도 지형고도자료를 사용하였으며, 해당 DEM의 공간해상도는 3 arc sec(~90m)이다.

해당 레이더 영상은 충청남도와 충청북도, 전라북도, 전라남도를 모두 부분적으로 포함하는 매우 큰 영상이며, 그중 3번째 Sub swath에 해당하는 IW3 영역을 사용하였다. 해당 영역에는 9개의 burst가 존재하며, 충청남도와 전라북도 서해안 지역을 포함한다. 해당 이미지에 포함된 기상청의 종관기상관측소(ASOS)는 총 7개 소이며, 적설심을 측정하는 자동기상관측소(AWS)까지 포함하면 총 30개의 관측소가 존재한다. 종관기상관측소의 위치는 그림 2와 같다.

2.3 DInSAR 영상처리

유럽우주국(ESA)은 또한 Sentinel 위성 영상 자료를 분석할 수 있는 소프트웨어인 SNAP (SeNtinel's Application Platform)이라는 프로그램을 개발하여 무료로 배포하고 있다(ESA, 2021). SNAP에는 위성의 종류에 따라 여러 Toolbox가 있는 데, SAR는 S1TBX라 불리는 toolbox를 활용한다. S1TBX는 기존 상용 프로 그램에 비교할 때도 매우 뛰어난 범용성 과 확장성 및 UI(user interface)를 갖추고 있기 때문에 사용이 매우 편리하며, 자료 처리에 필요한 위성의 정밀한 위치자료 (state vector)나 외부 DEM 자료를 자동으로 다운로드하고 모자이크하는 기능이 있으며, 무엇보다도 Graph Builder를 이용해 순서도 형식으로 처리과정을 프로그래밍 할 수 있다(Lee, 2017). SNAP 9.0 (2021년 10월 1일자)이 현재의 정식 버전이며, 이 연구에서는 SNAP 8.0 버전을 사용하였다.

2.4 DInSAR 분석 결과

대상지역에 적설심 분포를 추정하기 위해, 적설이 내리기 전에 촬영된 SAR 영상과 적설이 지표면에 쌓여 있을 때 촬영된 같은 지역의 영상이 필요하다. Sentinels 위성이 우리나라를 촬영하는 시간과 적설심이 존재하는 시기를 맞춰, 2021년 12월 17일~19일 사이에 발생한 강설 사상을 대상으로 분석하였

다. Sentinel-1B가 해당 지역을 지나가며 영상을 촬영한 2021년 12월 7일 새벽 6시 32분에는 적설이 지표면에 없었으며, 2021년 12월 19일 새벽 6시 32분에는 17~19일 사이에 내린 강설이 지표면에 남아 있었다. 그림 3(a)는 대상지역과 관측소의 위치를 나타내며, 그림 3(b)는 당시 기상청의 전국 378개 적설관측소에서 관측한 값을 이용하여 해당일의 적설심을 크리깅 기법으로 보간 한 것이다. 전국 378개의 적설관측소 값을 모두 사용한 이유는, 연구대상지역이 해안가에 있어 영상의 경계면에 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위해서이다. 그림 3(c)는 DInSAR 방법을 이용하여 추정된 12월 19일 06시 32분의 적설심의 공간 분포이다. 그림 3에서 알 수 있는 것과 같이, 전체적으로 적설심이 많은 곳과 적은 곳의 경향이 매우 유사하다는 것을 알 수 있다. 특히 두 그림 모두에서 태안반도 쪽에서 적설이 없는 것과 내륙 쪽에 적설이 많이 남아 있는 것은 매우 유사한 점이다. 하지만 그림에서 남쪽인 부안과 정읍에서는 관측값 보다 더 큰 값을 추정하고 있음을 알 수 있다.

3. 맺음말

본 기고에서 소개한 연구에서는 Sentinel-1B의 SAR 자료를 이용하여 DInSAR 기법을 이용해 지표면에 쌓인 적설심을 추정하여 실제 계측자료와 비교를 통해 적설심 추정 방법을 검증하였다. 충청남도와 전라북도 해안가 지역에 위치한 적설관측소의 적설심 자료를 수집하여 사용하였다. 적용 결과, 적설예측의 정확도는 격자별로 계산할 경우, DInSAR 는 약 0.92%를 나타내 적용성이 높게 나타났다. DInSAR 방법을 이용하여 계산된 적설심과 기상관측소에서 관측된 적설심을 공간보간하여 비교한 결과, 적설의 유무는 상당히 일치하는 것으로 판단되었고, 적설심의 공간분포도 관측된 적설심과 유사함을 알 수 있었으나, 적설심이 관측값에 비해 과대추정되는 경우가 다수 발생하였다. 이렇게 오차가 발생하는 요인으로는 크게 동일한 유전율 가정, 지점관측 값과 면적평균 값의 차이, 영상관측 시기에 따른 지형변화, 대기보정 미고려에 따른 오차, 신호처리 등 시스템적 오차 등이 있다. 특히, 큰 오차 유발요인은 동일한 유전율 가정이라고 할 수 있다. 즉, 모든 지역에 유전율을 동일하게 적용한 가정의 오류에 기인한 것으로 보이며, 실제 최대강설이 발생한 후, 기온이 영상으로 올라가며 녹은 눈으로 인해 적설의 유전율이 상승한 것이 원인인 것으로 판단된다. 이와 같은 한계가 존재함에도 불구하고, 지점에 따라 적설심이 작은 경우 과대추정되는 경향이 있기는 했지만, 적설심이 크지 않은 상황에서도 SAR 영상을 이용하여 적설심이 관측되지 않은 지역의 적설 유무와 적설심 분포를 추정하는 것이 가능하다는 것을 알 수 있었으며, 이를 통해 대설피해지역의 추정, 과거 대설피해 관련 자료의 역추적 등 다양한 분야에 활용할 수 있을 것으로 보인다. 향후, 눈의 상태나 온도에 따른 유전율의 변화를 적용한다면 보다 정확한 적설심의 공간분포를 파악할 수 있을 것이다. 또한, DInSAR 방법론에 대기권 지연오차와 같이 대기 상태에 따른 오차를 반영하거나, 보다 정확하고 상세한 DEM을 적용하여 정확도를 향상시킬 수 있는 연구를 진행해야 할 것으로 보인다.

감사의 글

이 연구는 행정안전부 '기후변화대응 AI기반 풍수해 위험도 예측기술개발' 사업의 지원을 받아 수행된 연구임(2022-MOIS61-003).

참고문헌

Chen, J., Gunther, F., Grosse, G., Liu, L., and Lin, H. (2018). "Sentinel-1 InSAR measurements of elevation changes over Yedoma uplands on Sobo-Sise island, Lena Delta." Remote Sensing, Vol. 10, No. 7, 1152. doi: 10.3390/rs10071152.

Dozier, J., and Shi, J. (2000). "Estimation of snow water equivalence using SIR-C/X-SAR. II. Inferring snow depth and particle size." IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 38, No. 6, pp. 2475-2488. doi: 10.1109/36.885196.

European Space Agency (ESA) (2021). Copernicus open access hub, accessed 21 November 2022, <https://scihub.copernicus.eu/>.

Evans, J.R., Kruse, F.A., Bickel, D.L., and Dunkel, R. (2014). "Determining snow depth using Ku-band Interferometric synthetic Aperture Radar (Insar)." In SPIE Proceedings: SPIE, Edited by Ranney, K.I. and Doerry, A., 90770V, Baltimore, MD, U.S.

Guneriussen, T., Hogda, K.A., Johnsen, H., and Lauknes, I. (2001). "InSAR for estimation of changes in snow water equivalent of dry snow." IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 39, No. 10, pp. 2101-2108. doi: 10.1109/36.957273.

Park, H., and Chung, G. (2022). "Estimation of spatial distribution of snow depth using DInSAR of Sentinel-1 SAR satellite images." Journal of Korea Water Resources Association, Vol. 55, No. 12, pp. 1125-1135.

Lee, H. (2017). "Application of KOMPSAT-5 SAR interferometry by using SNAP software." Korean Journal of Remote Sensing, Vol. 33, No. 6_3, pp. 1215-1221. doi: 10.7780/kjrs.2017.33.6.3.5.

Matzler, C. (1996). "Microwave permittivity of dry snow." IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 34, No. 2, pp. 573-581. doi: 10.1109/36.485133.

Varade, D., Maurya, A.K., Dikshit, O., Singh, G., and Manickam, S. (2020). "Snow depth in Dhundi: An estimate based on weighted bias corrected differential phase observations of dual polarimetric bi-temporal Sentinel-1 data." International Journal of Remote Sensing, Vol. 41, No. 8, pp. 3031-3053. doi: 10.1080/ 01431161.2019.1698076.

Wang, Y., Zhou, G., and You, H. (2019). "An energy based SAR image segmentation method with weighted feature." Remote Sensing, Vol. 11, No. 10, 1169.

Yu, F., Sun, W., Li, J., Zhao, Y., Zhang, Y., and Chen, G. (2017). "An improved Otsu method for oil spill detection from SAR images." Oceanologia, Vol. 59, No. 3, pp. 311-317.